

repository.ub.ac.id

**SIMULASI PENGARUH JARAK *RING BUNSEN BURNER*
TERHADAP KARAKTERISTIK NYALA API *PREMIX GAS METANA***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



SAUT JULISON PASARIBU

NIM. 145060200111015

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

SIMULASI PENGARUH JARAK *RING BUNSEN BURNER*
TERHADAP KARAKTERISTIK NYALA API *PREMIX GAS METANA*

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



SAUT JULISON PASARIBU
NIM. 145060200111015

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 17 Juli 2018

DOSEN PEMBIMBING I

Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D
NIP 19710321 199802 1 001

DOSEN PEMBIMBING II

Francisca Gayuh Utami Dewi
NIK 201103 820919 2 001

Mengetahui,
KETUA PROGRAM STUDI S1



Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP 19740930 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

SIMULASI PENGARUH JARAK *RING BUNSEN BURNER* TERHADAP
KARAKTERISTIK NYALA API *PREMIX* GAS METANA

Nama Mahasiswa : Saut Julison Pasaribu
NIM : 145060200111015
Program Studi : Teknik Mesin
Minat : Teknik Konversi Energi

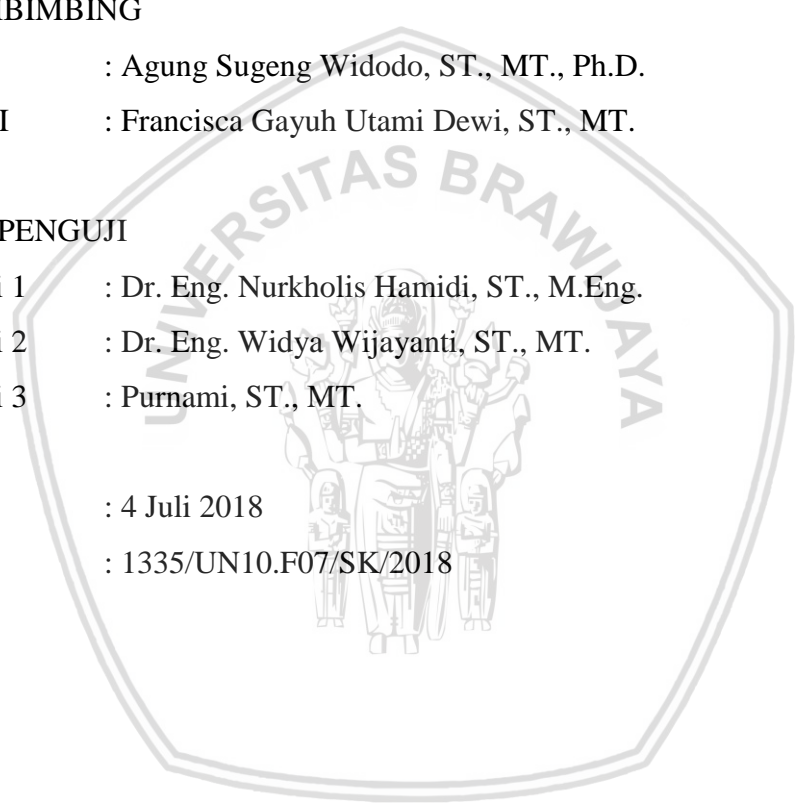
KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D.
Pembimbing II : Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.
Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
Dosen Penguji 3 : Purnami, ST., MT.

Tanggal Ujian : 4 Juli 2018
SK Penguji : 1335/UN10.F07/SK/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 17 Juli 2018

Mahasiswa



Saut Julison Pasaribu

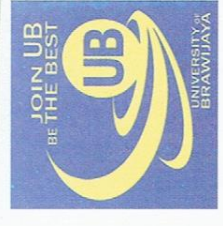
NIM. 145060200111015

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 103/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

SAUT JULISON PASARIBU

Dengan Judul Skripsi :

SIMULASI PENGARUH VARIASI JARAK RING BUNSEN BURNER TERHADAP
KARAKTERISTIK NYALA API PREMIX GAS METANA

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **17 JUL 2018**



Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001



Rasa syukur yang besar kepada Allah
Rasa terima kasih yang banyak untuk
Ayah, Ibu, Nia, Apri, dan Seperjuangan Ikapema

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat, tuntunan, dan segala nikmat-Nya penulis bisa menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Simulasi Pengaruh Jarak Ring Bunsen Burner Terhadap Karakteristik Nyala Api Premix Gas Metana**” dengan lancar. Skripsi ini ditulis guna melengkapi proses perkuliahan dan sebagai persyaratan akademis untuk mencapai Gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Dalam menyelesaikan tulisan ini, penulis menyadari tidak bisa melakukannya tanpa bantuan dan dukungan dari semua pihak yang terkait maupun tidak terkait. Oleh karena itu dalam kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
2. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng. Ph.D., selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Bapak Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
4. Ibu Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT., selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Teknik Konversi Energi.
5. Bapak Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberi bimbingan, mengarahkan dan memberikan motivasi kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
6. Ibu Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II yang memberi masukan, saran dan dorongan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini.
7. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah mengajarkan banyak ilmu pengetahuan.
8. Orang tua dan adik serta keluarga besar dirumah yang telah mendukung dari segi finansial dan moral untuk kelancaran penulis menyelesaikan kuliah.
9. Teman – teman M14 yang telah menjadi keluarga dan pengisi hari – hari penulis selama kuliah.
10. Keluarga besar IKAPEMA KEPRI-MALANG yang telah menjadi tempat mengembangkan diri penulis selama berada di Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

11. Teman-teman Pengurus Harian Ikapema yang pernah susah dan senang bersama saya, terimakasih atas segala pelajaran, pengalaman, dan keseruan yang kita dapat selama ini
12. Teman-teman DPO Ikapema yang saat ini selalu membantu saya.
13. Terimakasih kepada Dzaki Nur Wahid, teman perjuangan kuliah di malang selama 4 tahun ini dari awal kita sampai di malang dan bertemu di asrama, semangat jek mengejar gelar S1.
14. Terimakasih kepada Bobby R Kreatifika atas perjuangan dan petualangan kita jalan jalan meskipun tidak banyak kita bepergian, semoga kita sering jalan jalan nantinya.
15. Terimakasih kepada Ria GIS sebagai penyemangat dan selalu membantu saya memahami hal hal yang tidak saya pahami dalam hidup ini.
16. Terimakasih kepada Fajar, Fadil, dan Vedo teman teman seperjuangan maba di asrama ini saat kita masih di tempa oleh abang abang disini hingga kita akhirnya harus menempa adik adik kita berikutnya.
17. Terimakasih kepada teman teman asrama putra & putri Ikapema Kepri Malang selama ini selalu mengisi hari hari penulis dengan segala kesedihan dan kebahagiaan.
18. Greg, Pipit, dan Efrida sebagai teman satu kelompok dalam perjuangan dalam pengerjaan skripsi ini.
19. Terimakasih kepada Rendi, Aristo, dan Jek Anwar. Teman main dota paling seru, semoga kita masih bisa sering sering main kumpul berempat walaupun udah kumpul malah berantam.

Penulis sadar bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi banyak pihak terutama bagi pengembangan ilmu pengetahuan teknik mesin.

Malang, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Penelitian Sebelumnya	3
2.2 Metana	4
2.3 Pembakaran	4
2.3.1 <i>Air Fuel Ratio</i> (AFR) dan <i>Equivalence ratio</i> (Φ)	5
2.4 Klasifikasi Pembakaran	6
2.5 Pembakaran Premix.....	7
2.5.1 Stabilitas Nyala Api Laminer.....	7
2.5.2 Kecepatan Nyala Api	8
2.5.3 Tempertaur Nyala Api	10
2.6 <i>Bunsen Burner</i>	10
2.7 Aliran Fluida.....	10
2.8 <i>Heat transfer</i>	11
2.9 Simulasi Numerik	13
2.10 <i>Computational Fluid Dynamic</i> (<i>CFD</i>)	13
2.11 Pemodelan Pembakaran	16
2.11.1 Pengaturan Kondisi batas pada Pemodelan Pembakaran	
<i>Computational Fluid Dynamic</i>	18
2.12 Hipotesis.....	21

BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Metode Penelitian.....	23
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.3 Variabel Penelitian	23
3.4 Prosedur Penelitian.....	25
3.5 Diagram Alir Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Verifikasi Penelitian	31
4.2 Hasil Visualisasi Nyala Api	33
4.3 Pengolahan Data Karakteristik Nyala Api	35
4.3.1 Pengolahan Data Visualisasi Nyala Api.....	35
4.3.2 Tabel Hasil Perhitungan Karakteristik Nyala Api	36
4.4 Grafik dan Pembahasan.....	37
4.4.1 Grafik Hubungan <i>Equivalence Ratio</i> terhadap Tinggi Nyala Api.....	37
4.4.2 Grafik Hubungan <i>Equivalence Ratio</i> terhadap Kecepatan Api Laminer	39
4.4.3 Grafik Hubungan <i>Equivalence Ratio</i> terhadap Temperatur Nyala Api.....	40
BAB V PENUTUP.....	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Properti Metana Pada Kondisi Standar.....	4
Tabel 4.1 Verifikasi Perbandingan Hasil Penelitian Eksperimental Dan Hasil Penelitian Simulasi.....	33
Tabel 4.2 Data ketinggian dan Sudut Posisi <i>Ring</i> 0 mm dari Ujung <i>Bunsen Burner</i>	35
Tabel 4.3 Data Ketinggian dan Sudut Posisi <i>Ring</i> 5 mm dari Ujung <i>Bunsen Burner</i>	35
Tabel 4.4 Data Ketinggian dan Sudut Posisi <i>ring</i> 10 mm dari Ujung <i>Bunsen Burner</i>	36
Tabel 4.5 Data Ketinggian dan Sudut Posisi <i>Ring</i> 0 mm dari Ujung <i>Bunsen Burner</i>	36
Tabel 4.6 Tabel Karakteristik Nyala Api Masing-Masing Jarak <i>Ring</i> Pada <i>Bunsen Burner</i>	37



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur CH_4	4
Gambar 2.2 Skema pembakaran.....	4
Gambar 2.3 (a) Kecepatan nyala api laminar dan kecepatan reaktan (b) Aliran pada sudut α pada bagian depan api	8
Gambar 2.4 Struktur temperatur dan <i>Heat Release Rate</i>	9
Gambar 2.5 <i>Bunsen Burner</i>	10
Gambar 2.6 Macam-macam perpindahan panas	11
Gambar 2.7 (a) pembagian <i>control volume</i> 1 dimensi (b) panjang <i>control volume</i>	15
Gambar 2.8 Pemodelan kondisi batas	18
Gambar 2.9 Diagram alir metode SIMPLE.....	21
Gambar 3.1 Dimensi <i>bunsen burner</i> dengan <i>ring</i>	24
Gambar 3.2 Menu <i>fluid flow fluent</i>	25
Gambar 3.3 Pemodelan geometri.....	25
Gambar 3.4 Dimensi <i>bunsen burner</i> beserta <i>ring</i> pada jarak 0 mm	26
Gambar 3.5 Pengaturan <i>meshing</i>	27
Gambar 3.6 Pengaturan kondisi batas pada bagian setup	28
Gambar 3.7 Diagram alir penelitian.....	29
Gambar 4.1 Perbandingan visualisasi nyala api, tinggi api, dan sudut yang dihasilkan pada <i>equivalence ratio</i> 1 pada berbagai jarak <i>ring</i>	32
Gambar 4.2 Visualisasi api pada jarak <i>ring</i> 0 mm di berbagai <i>equivalence ratio</i>	34
Gambar 4.3 Visualisasi api pada <i>equivalent ratio</i> 1.18.....	34
Gambar 4.4 Data dari visualisasi nyala api pada jarak <i>ring</i> 0 mm <i>equivalent ratio</i> 1,18.....	35
Gambar 4.5 Grafik hubungan <i>equivalent ratio</i> terhadap tinggi nyala api.....	37
Gambar 4.6 Grafik hubungan <i>equivalent ratio</i> terhadap kecepatan api laminar	39
Gambar 4.7 Grafik hubungan <i>equivalence ratio</i> terhadap temperatur nyala api	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil visualisasi Nyala Api

Lampiran 2 Pengolahan data visualisasi Nyala api

Lampiran 3 Perhitungan Excel

Lampiran 4 Panduan Simulasi Numerik *Bunsen Burner*



RINGKASAN

Saut Julison Pasaribu, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2018, Simulasi Pengaruh Variasi Jarak Ring Bunsen Burner Terhadap Karakteristik Nyala Api Premix Gas Metana. Dosen Pembimbing: Agung Sugeng Widodo dan Francisca Gayuh Utami Dewi.

Bunsen burner merupakan sebuah alat pembakaran yang menghasilkan api laminar. *Bunsen burner* banyak digunakan dibidang penelitian, namun *bunsen burner* masih memiliki beberapa kelemahan, yaitu belum adanya standarisasi yang tetap dalam penggunaannya. Maka dari itu perlu diadakan standarisasi untuk penggunaan *bunsen burner* melalui karakteristik nyala api yang dihasilkan. Karakteristik nyala api laminar terdiri dari tinggi api, suhu nyala api, dan kecepatan nyala api laminar. Pada penelitian ini, dilakukan penelitian karakteristik nyala api laminar menggunakan *bunsen burner* dengan variasi jarak *ring* dari ujung *bunsen burner*, dengan varian 0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm. Bahan yang digunakan untuk *ring* adalah kuningan, dan efek perpindahan panas akan membawa perubahan pada karakteristik nyala api yang di hasilkan. Hasil dari penelitian ini adalah bahwa *ring* mempengaruhi karakteristik nyala api yang dihasilkan oleh pembakaran gas metana pada *bunsen burner*. Semakin jauh posisi *ring* pada *bunsen burner*, nilai tinggi nyala api semakin meningkat, nilai kecepatan api laminar semakin menurun, dan nilai temperatur nyala api semakin menurun.

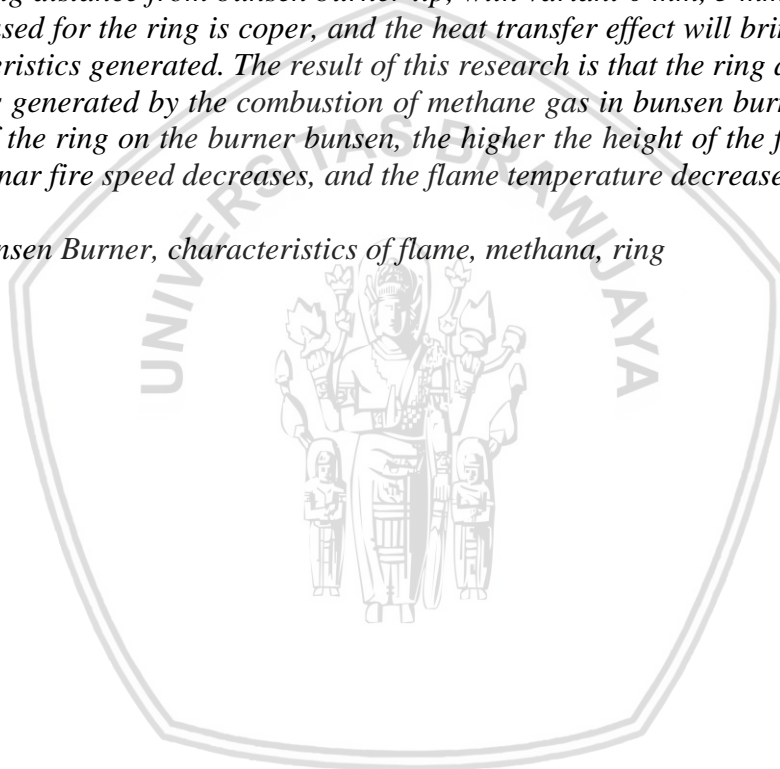
Kata Kunci: *Bunsen burner*, karakteristik nyala api, metana, *ring*

SUMMARY

Saut Julison Pasaribu, *Departement of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, July 2018, Simulation of gas methane premixed flame characteristic by varying distance of ring to bunsen burner. Academic Supervisor: Agung Sugeng Widodo and Francisca Gayuh Utami Dewi.*

Bunsen burner is a combustion tool that produces laminar fire. Bunsen burner is widely used in the field of research, but bunsen burner still has some disadvantages, namely the lack of standardization that remains in its use. Therefore, it is necessary to standardize for the use of bunsen burner through the characteristics of the resulting flame. The characteristics of laminar flame consist of fire height, flame temperature, and laminar flame velocity. In this research, a characteristic study of laminar flame using bunsen burner with variation of ring distance from bunsen burner tip, with variant 0 mm, 5 mm, 10mm, 15mm. The material used for the ring is copper, and the heat transfer effect will bring causes to the flame characteristics generated. The result of this research is that the ring affects the flame characteristics generated by the combustion of methane gas in bunsen burner. The further the position of the ring on the burner bunsen, the higher the height of the flame increases, the lower laminar fire speed decreases, and the flame temperature decreases.

Keywords: *Bunsen Burner, characteristics of flame, methane, ring*



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia globalisasi saat ini pembakaran memegang peranan yang sangat penting. Pembakaran dimanfaatkan dalam berbagai bidang mulai dari transportasi, manufaktur, produksi, perekonomian dan sumber energi. Karena pemanfaatan yang sangat banyak inilah, banyak penelitian yang dilakukan mengenai pembakaran. Penelitian dilakukan untuk mencapai efisiensi yang tinggi dan dampak lingkungan yang tidak merusak seperti polusi. Berbagai alat pembakaran telah ditemukan untuk mencapai tujuan tersebut, salah satunya adalah *bunsen burner*. *Bunsen burner* adalah peralatan pembakaran yang digunakan untuk menghasilkan api laminar. *Bunsen burner* ditemukan oleh Robert Wilhem Eberhead Bunsen (1811-1899), terdiri dari tabung logam di atas sebuah kaki dan sebuah keran panjang dari karet yang menghubungkan tabung logam ke penyembur gas, dua lubang pada bagian dasar mengendalikan kadar udara yang bercampur dengan gas sehingga menghasilkan api tanpa asap.

Meski banyak digunakan namun *bunsen burner* belum memiliki standar yang tetap sehingga hasil penelitian menggunakan *bunsen burner* dirasa kurang akurat. Hal ini akan berpengaruh pada penggunaannya karena karakteristik nyala api yang dihasilkan juga berbeda-beda. Suhu nyala api, tinggi nyala api, serta kecepatan laminar nyala api merupakan karakteristik nyala api, dengan karakteristik nyala api yang berbeda maka akan membuat pengujian menjadi lebih sulit. Penggunaan beberapa alat tambahan juga digunakan untuk menghasilkan hasil karakteristik nyala api yang lebih spesifik, seperti *ring*. Karakteristik api yang dihasilkan akan berbeda dikarenakan adanya *ring* yang ditambahkan. *Ring* tersebut akan membawa efek perpindahan kalor dari *bunsen burner* sehingga suhu api akan berubah dan menghasilkan karakteristik api yang berbeda dari pembakaran *bunsen burner* tanpa *ring*.

Bahan bakar yang digunakan juga akan membawa hasil yang berbeda karena reaksi pembakaran yang berbeda-beda. Karakteristik nyala api yang dihasilkan dari pembakaran gas metana tentu akan berbeda dengan bahan bakar lainnya, dikarenakan perbedaan senyawa penyusun dan perbedaan rantai ikatan antara gas metana dan bahan bakar lainnya. Sehingga pada penelitian kali ini akan dilakukan simulasi pembakaran menggunakan *bunsen burner* dengan variasi jarak *ring* sepanjang *bunsen burner*. Diharapkan hasil dari penelitian ini

akan dapat dijadikan standar dalam penelitian eksperimental yang menggunakan *bunsen burner*. Simulasi pembakaran akan dilakukan menggunakan *software* ANSYS.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian bahwa rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi jarak *ring* disepanjang *bunsen burner* pada pembakaran *premix* terhadap karakteristik nyala api pembakaran gas metana.

1.3 Batasan Masalah

Simulasi kali ini diberi batasan agar mempermudah proses simulasi, batasan yang ditentukan adalah:

1. Tekanan udara disekitar dianggap 1 atmosfer (1atm)
2. Temperatur lingkungan dianggap 25°C
3. Komposisi gas metana dianggap 100% metana
4. *Losses* disepanjang rangkaian diabaikan

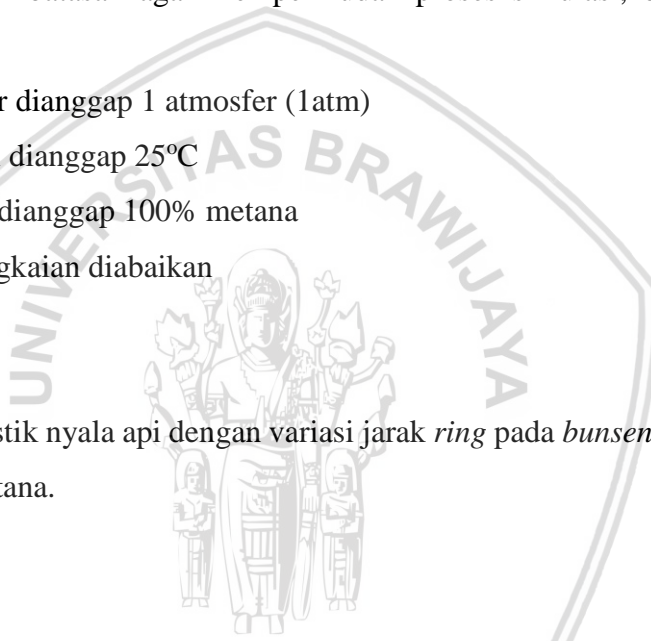
1.4 Tujuan Penelitian

Menganalisis karakteristik nyala api dengan variasi jarak *ring* pada *bunsen burner* pada pembakaran *premix* gas metana.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari simulasi adalah:

1. Dapat mengetahui pengaruh dari variasi jarak *ring* pada sepanjang *bunsen burner* terhadap karakteristik nyala api pembakaran *premix* gas metana
2. Dapat menjadi acuan sebagai standarisasi *bunsen burner*
3. Dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Aditya (2016) telah melakukan penelitian secara eksperimental mengenai karakteristik nyala api pada *bunsen burner* dan *slot burner* dengan bahan bakar metana. Variasi pada penelitian tersebut adalah *equivalence ratio* metana yaitu 0,78 ; 0,98 ; 1,04 ; 1,24 ; 1,56 ; 2,6. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan api laminar *bunsen burner* lebih besar dari *slot burner*, tinggi api *bunsen burner* lebih tinggi dari *slot burner*, temperatur api *slot burner* lebih tinggi dari *bunsen burner*. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin tinggi *equivalence ratio* maka kecepatan api laminar dan tinggi api menurun sedangkan temperatur meningkat.

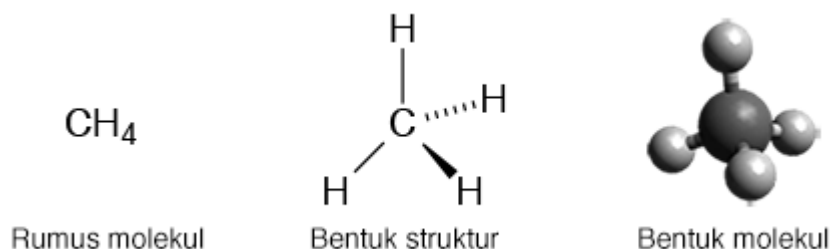
Dhiputra (2015) telah melakukan penelitian mengenai panjang nyala api pada fenomena *flame lift up* pembakaran propana menggunakan *bunsen burner*, dengan variasi ketinggian *ring* dari ujung *bunsen burner*. Variasi ketinggian *ring* dari ujung *burner* yaitu 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 60 mm. Laju aliran gas yang digunakan pada penelitian ini sesuai skala di rotameter yaitu 0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm, 3 cm. *Ring* yang digunakan ada 2 yaitu yang berbahan *stainless steel* AISI 304 dan keramik, dengan dimensi yang sama 30 mm diameter luar dan 10 mm diameter dalam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fraksi massa bahan bakar sebanding dengan panjang api *lift up*. Penggunaan *ring* keramik lebih baik sebagai *flame hold* dibandingkan bahan *stainless steel* AISI 304, karena keramik cenderung tidak terbakar sehingga akan membawa efek penyerapan panas.

Mulya (2015) telah melakukan penelitian mengenai pembakaran *premix* minyak nabati pada *bunsen burner* tipe silinder, dengan tujuan mengetahui karakteristik kecepatan api laminar dan *equivalence ratio*. Variasi pada penelitian ini berupa 3 jenis minyak nabati yang digunakan yaitu kelapa murni, jarak pagar, dan biji kapuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *equivalence ratio* terbesar secara berurutan adalah minyak kelapa murni, jarak pagar, dan biji kapuk. Semakin kaya udara maka pola api semakin kecil hingga *blow-off*.

Firdaus (2017) telah melakukan penelitian mengenai karakteristik nyala api pembakaran gas metana pada *bunsen burner* dengan variasi diameter *ring*. Variasi diameter *ring* yang digunakan adalah 21 mm, 26 mm, 31 mm, 36 mm, 41 mm, 46 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur api akan menurun seiring meningkatnya diameter *ring*, tinggi api laminar akan meningkat sebanding dengan meningkatnya diameter *ring*, kecepatan api laminar akan menurun sebanding dengan meningkatnya diameter *ring*.

2.2 Metana

Metana merupakan senyawa hidrokarbon sederhana yang berasal dari golongan alkana. Rumus kimia dari metana adalah CH_4 . Metana merupakan salah satu bahan bakar utama dalam proses pembakaran, karena banyak tersedia di alam. Ilustrasi dan informasi mengenai metana terdapat pada Gambar 2.1 dan Tabel 2.1.



Gambar 2.1 Struktur CH_4

Sumber: F.El-Mahallawy (2002:09)

Tabel 2.1

Properti Metana Pada Kondisi Standar

Rumus senyawa	: CH_4
Massa molekul	: 16,04 g/mol
Temperatur Penyalaan	: 580°C
Kecepatan rambat api pada suhu 25°C	: 43,4 cm/detik
Densitas	: $0,7168 \text{ g/dm}^3$
Nilai kalor tinggi	: 9510 kcal/m^3
Nilai kalor rendah	: 8570 kcal/m^3

Sumber: Wardana (2008:16)

2.3 Pembakaran

Menurut Werlin S. Nainggolan dalam bukunya Termodinamika, pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara bahan bakar dengan oksigen. Ketika terjadi pembakaran kimia, dikatan-ikatan di dalam model molekul dari reaktan terputus dan atom-atom serta elektron-elektron tersusun ulang menjadi produk. Di dalam reaksi pembakaran, elemen-elemen pada bahan bakar yang memiliki sifat mudah terbakar mengalami proses oksidasi yang cepat sehingga akan menghasilkan pelepasan energi secara bersamaan dengan terbentuknya produk hasil pembakaran. Gambar 2.2 menunjukkan proses pembakaran.

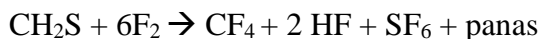
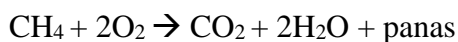
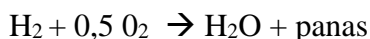


Gambar 2.2 Skema pembakaran

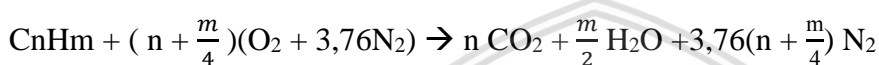
Sumber: *Introduction to Thermodynamics* (1994:236)

Pembakaran disebut sempurna ketika semua karbon yang terkandung dalam bahan bakar telah habis terbakar menjadi karbon dioksida, semua hidrogen telah habis terbakar

menjadi air, dan semua sulfur telah habis terbakar menjadi sulfur dioksida, dan semua elemen yang mudah terbakar lainnya telah teroksidasi. Contoh pembakaran sempurna:



Stokiometri adalah sebuah ilmu yang mempelajari mengenai keseimbangan reaksi antara jumlah reaktan dan produk dalam sebuah reaksi kimia. Dalam pembakaran stokiometri sangat penting agar dihasilkan pembakaran yang sempurna. Karena pembakaran menggunakan udara kering (yang terdiri dari 21% oksigen dan 78% Nitrogen), maka persamaan pembakaran dapat dicari dengan C_nH_m .



Persamaan diatas merupakan persamaan ideal sebuah pembakaran sempurna. Sebagai contoh untuk pembakaran metana (CH_4) maka stokiometrinya sebagai berikut.



2.3.1 Air Fuel Ratio (AFR) dan Equivalence Ratio (Φ)

Air Fuel Ratio (AFR) didefinisikan sebagai perbandingan massa udara dengan massa bahan bakar dalam proses pembakaran. Rasio ini dapat dicari dengan menggunakan basis molar (mol udara dibagi dengan mol bahan bakar) atau dengan basis massa (massa udara dibagi dengan massa bahan bakar).

$$\text{AFR}_m = \frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}} \quad (2-1)$$

Sumber: Wardana (2008)

$$\text{AFR}_n = \frac{N_{\text{udara}}}{N_{\text{bahan bakar}}} \quad (2-2)$$

Sumber: Wardana (2008)

Dimana:

AFR_m = *Air Fuel Ratio* berdasarkan massa

AFR_n = *Air Fuel Ratio* berdasarkan mol

M_{udara} = Massa udara

$M_{\text{bahan bakar}}$ = Massa bahan bakar

N_{udara} = Mol udara

$N_{\text{bahan bakar}}$ = Mol bahan bakar

Contoh menghitung AFR pada reaksi pembakaran metana dengan udara.

$$\text{AFR}_n = \frac{N_{\text{udara}}}{N_{\text{bahan bakar}}}$$

$$AFR_n = \frac{2(1+3,76)}{1} = 9,52$$

$$AFR_m = \frac{M_{udara}}{M_{bahan\ bakar}}$$

$$AFR_m = \frac{2(32+105,3)}{16} = 17,16$$

Equivalent ratio (Φ) adalah perbandingan dari nilai FAR (*Fuel Air Ratio*) yang tersedia (aktual) dengan nilai FAR (*Fuel Air Ratio*) stokiometri (teoritis).

$$\Phi = \frac{(Fuel/Air)_{actual}}{(Fuel/Air)_{stoich}} = \frac{AFR_{stoichs}}{AFR_{aktualss}} \quad (2-3)$$

Sumber: Wardana (2008)

Berdasarkan nilai *Equivalent ratio* dapat disimpulkan bahwa sebuah pembakaran mengalami kondisi sebagai berikut

Jika $\Phi > 1$ maka pembakaran *fuel rich* (kaya bahan bakar)

Jika $\Phi = 1$ maka pembakaran *mixture strength* (Pembakaran Sempurna)

Jika $\Phi < 1$ maka pembakaran *fuel lean* (miskin bahan bakar)

2.4 Klasifikasi Pembakaran

Jenis-jenis pembakaran ada beberapa jenis yaitu:

1. Dibedakan menurut pencampuran bahan bakar dan oksidator dibedakan menjadi *premix* dan difusi.
2. Dibedakan menurut jenis aliran pembakaran yaitu laminar dan turbulen.

Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan pengoksida tidak bercampur secara mekanik, melainkan bercampur secara natural melalui proses difusi dalam ruang bakar (Wardana 2008). Sebagaimana difusi adalah proses perpindahan zat dari tekanan tinggi menuju tekanan yang lebih rendah. Pembakaran difusi merupakan pembakaran yang memanfaatkan perbedaan tekanan antara bahan bakar dan udara agar pembakaran dapat terus berlanjut. Perbedaan tekanan biasanya disebabkan oleh udara yang lebih dingin, sehingga tekanan dan densitasnya akan lebih besar daripada udara panas. Contoh pembakaran yang memakai prinsip difusi adalah kompor.

Pembakaran *Premix* adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan oksidator dicampur terlebih dahulu, lalu setelah mencapai stokiometri barulah dibakar sehingga pembakaran dapat berlangsung dan api dapat tetap menyala walau tanpa oksidator dari luar.

2.5 Pembakaran *Premix*

Nyala api *premix* didefinisikan memiliki keseimbangan adiabatik dimana temperatur pembakaran tertinggi dapat dicapai, antara temperatur api dan kecepatan pembakaran. Karena nyala api bergerak dengan kecepatan pembakaran yang khas, nyala api yang stabil mungkin didapat dengan melewati reaktan menuju pembakaran dengan kecepatan yang sama namun arah berlawanan. Untuk mendapat api yang stabil dapat dibantu dengan menambahkan alat lain ataupun *burner* yang berinteraksi secara lokal dengan aliran dan proses pembakaran. Nyala api *premix* hanya bisa didapat jika pada awalnya bahan bakar dan oksidan dicampur diantara batas komposisi terbakar.

Batas komposisi terbakar, terdapat 2 jenis, yaitu batas atas dan batas bawah. Jika bahan bakar yang mudah terbakar terus ditambahkan, maka pembakaran akan terjadi karena sudah mencapai batas bawah komposisi terbakar. Namun bila bahan bakar terus ditambahkan maka api akan padam karena sudah melewati batas atas komposisi terbakar. Beberapa hal yang mempengaruhi batas antara batas atas dan bawah antara lain adalah tekanan.

2.5.1 Stabilitas Nyala Api Laminer

Keseimbangan nyala api didapat dengan cara mengalirkan gas yang seimbang dan arah yang berlawanan dengan arah kecepatan pembakaran. Bisa juga didapat melalui peralatan tambahan atau *burner* yang menyediakan zona penstabil. Ada beberapa hal yang menyebabkan ketidakstabilan dalam *bunsen burner* yaitu:

1. Karena kehilangan kalor pada fasa gas: *reduced temperatur, no feedxback*
2. Karena pendinginan pada dinding bunsen: *loss of heat*
3. Karena aliran reaktan: *flashback, blow off, turbulence, lift-off*

1. *flashback*

Flashback adalah ketika kecepatan pembakaran lebih cepat dari kecepatan campuran udara dan bahan bakar, sehingga nyala api kembali masuk dan merambat ke tabung pembakaran. *Flashback* biasanya terjadi jika aliran bahan bakar dikurangi atau ditutup secara tiba tiba. Ketika kecepatan nyala api lebih cepat dari kecepatan aliran, perambatannya akan menyala menjauhi api. Sehingga pembakaran akan merambat ke selang dan menuju tabung.

2. *Lift-offx*

Lift-off adalah peristiwa keadaan nyala api tidak bersentuhan dengan bibir tabung permukaan, akan tetapi api akan menyala stabil di jarak tertentu dari permukaan tabung permukaan. Fenomena dari *lift off* berhubungan dengan nyala api laminar dan kecepatan

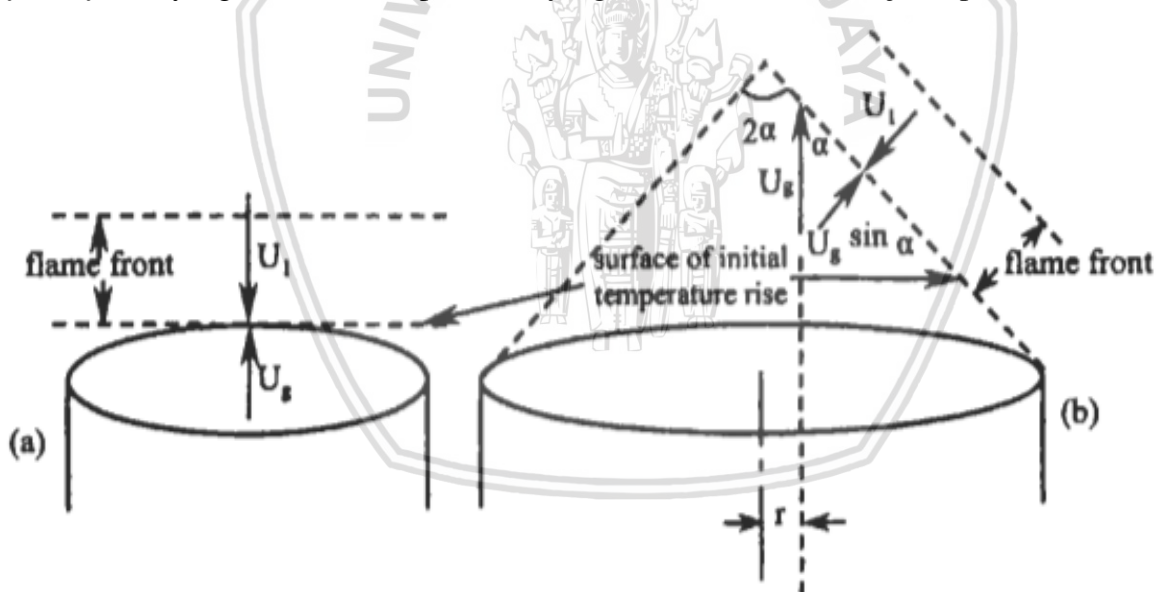
api yang sebanding. Pada saat keadaan ujung terbawah nyala api dekat dengan bibir tabung disebabkan oleh kecepatan aliran yang cukup rendah. Lalu jika kecepatan nyala api meningkat sampai ke batas kritisnya, ujung nyala akan menjauh dari ujung pembakaran dan nyala api akan terangkat, jika terus menerus terangkat maka api akan padam

3. *Blow-off*

Blow-off adalah keadaan dimana api padam dikarenakan kecepatan aliran yang lebih besar dari laju nyala api atau kecepatan pembakaran, bisa juga karena perubahan kecepatan secara mendadak. Kondisi ini memakan banyak bahan bakar dan dapat merusak peralatan seperti *nozzle*. Untuk menghindari fenomena *blow-off* maka *equivalence ratio* yang digunakan harus berada diatas *leaner limit*.

2.5.2 Kecepatan Nyala Api

Kecepatan nyala api laminar didefinisikan sebagai kecepatan dari permukaan depan api (*flame front*) yang relatif terhadap reaktan yang belum terbakar menuju ke permukaan.



Gambar 2.3 (a) Kecepatan nyala api laminar dan kecepatan reaktan (b) Aliran pada sudut α pada bagian depan api

Sumber: Mahallawy (2002:81)

Pada Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa U_1 adalah kecepatan pembakaran api laminar, sedangkan U_g merupakan kecepatan reaktan. Jika U_1 lebih besar dari U_g maka api akan cenderung mendekati bibir; *bunsen* sehingga kecepatan keduanya akan sebanding. Namun jika kecepatan reaktan (U_g) lebih tinggi dari kecepatan pembakaran (U_1) maka api pada daerah sekitar bibir *bunsen* akan stabil dan mulai membentuk sudut, seperti pada Gambar 2.3(b). Sehingga didapat kecepatan api laminar dengan *bunsen burner* melalui perhitungan:

$$S_L = V_u \cdot \sin \alpha$$

Sumber: Mahallawy (2002)

(2-4)

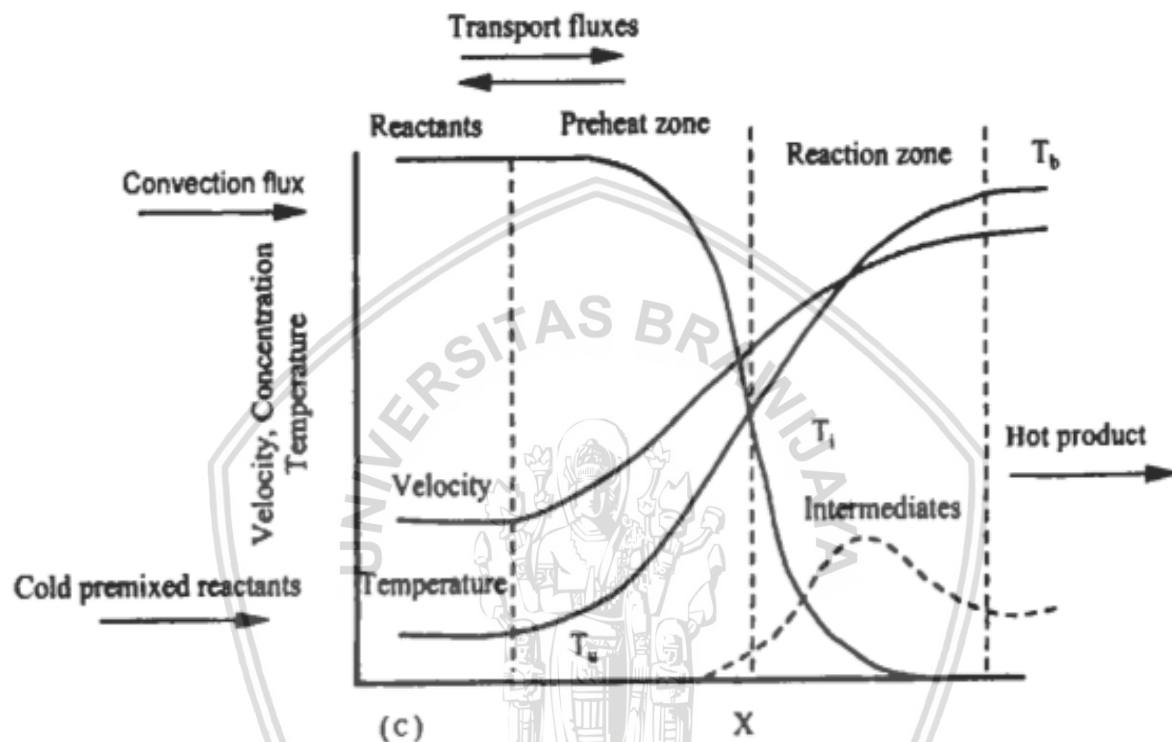
Dengan:

$S_L = U_1$ = Kecepatan api laminar (cm/s)

$V_u = U_g$ = Kecepatan reaktan (cm/s)

α = Sudut api yang terbentuk ($^\circ$)

Nyala api dapat digambarkan dalam sebuah Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur temperatur dan *heat release rate*

Sumber: Mahallawy (2002:81)

Pada Gambar 2.4 diatas terdapat 4 zona yaitu:

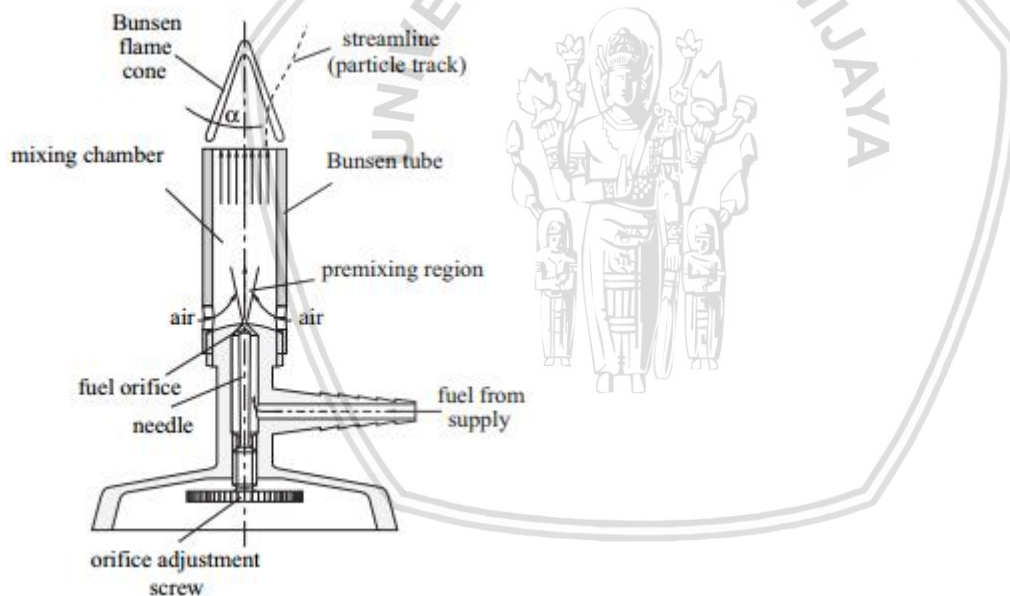
1. Zona Reaktan, merupakan zona dimana reaktan masih pada kondisi sama dengan reaktan dari *mixing chamber*.
2. Zona *Preheat*, pada zona ini temperatur reaktan belum mengalami pembakaran meningkat sampai pada suatu titik. Temperatur tersebut dapat berubah yang merupakan dampak dari temperatur api dan temperatur dinding *bunsen*.
3. Zona Reaksi, zona ini merupakan daerah tempat terjadinya pembakaran langsung dan sebagian besar energi kimia dilepaskan dalam bentuk panas.
4. Zona *Hot Product*, pada zona ini hasil pembakaran yang memiliki temperatur tinggi meninggalkan zona reaksi akibat dari densitasnya yang menurun setelah terjadi pembakaran.

2.5.3 Temperatur Nyala Api

Temperatur nyala api adalah temperatur dari gas ketika meninggalkan zona reaksi. Pada api *premix*, dikarenakan bahan bakar dan pengoksidasi dicampur dengan perhitungan komposisi serta keadaan temperatur dan keadaan lingkungan yang dapat diketahui, maka memungkinkan untuk menghitung suhu adiabatik dari properti termodinamik dari campuran aslinya. Untuk campuran stokiometri yang kebanyakan tersusun dari udara, nyala api berkisar diantara 2000K.

2.6 Bunsen Burner

Bunsen Burner adalah sebuah peralatan pembakaran untuk menghasilkan api laminar. Udara sebagai pengoksidasi bercampur dengan bahan bakar pada tabung dan kemudian dialirkan bersamaan menuju sisi atas *bunsen burner*. Di sisi atas *bunsen burner* akan terbentuk sebuah bentuk kerucut dengan hasil pembakarannya, berikut gambar dari *bunsen burner* pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Bunsen burner

Sumber: Peters Norbert (2010:54)

2.7 Aliran Fluida

Terdapat 3 macam aliran fluida yaitu laminar, transisi, dan turbulenta. Pada penelitian kali ini aliran fluida harus laminar agar terbentuk api laminar juga. Aliran fluida laminar bisa didapat dengan menghitung bilangan *reynolds*-nya. Bilangan *Reynolds* adalah bilangan tak berdimensi dalam mekanika fluida. Persamaan bilangan *reynolds* adalah:

$$Re = \rho \cdot v \cdot d / \mu \text{ atau } Re = V \cdot d / \nu \quad (2-5)$$

Sumber: Wardana (2008)

Dimana:

Re = Bilangan *reynolds*

V = Kecepatan fluida (m/s)

D = Diameter pipa (m)

μ = Viskositas absolut fluida dinamis (1 cp = 0,1g/dm s)

ρ = Densitas fluida (kg/m³)

ν = Viskositas fluida kinematis (km²/s)

Karena massa alir dan *flowcrate* juga berpengaruh pada aliran, maka rumus untuk massa alir dan *flow rate* sebagai berikut.

$$Q = V \cdot A \text{ atau } V = Q/A \quad (2-6)$$

Sumber: Wardana (2008)

$$\dot{m}v = \rho \cdot V \cdot A \text{ atau } \dot{m} = \rho \cdot Q \quad (2-7)$$

Sumber: Wardana (2008)

Pada aliran yang bertemu, *flow rate* dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Sigma_{in}.Q = \Sigma_{out}.Q \text{ maka } V = (Q_1 + Q_n)/A \quad (2-8)$$

Sumber: Wardana (2008)

Dimana:

Q = *flow rate*/debit aliran fluida (m³)

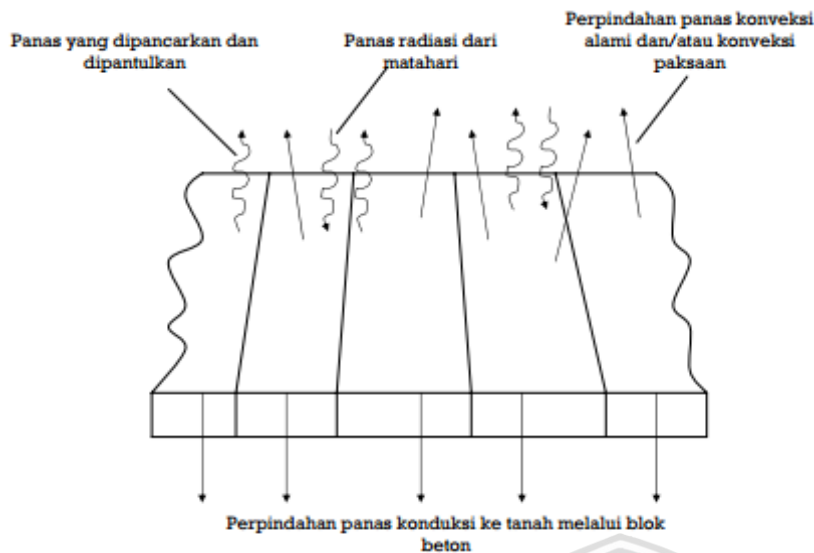
V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

A = Luas penampang aliran fluida (m²)

ρ = kerapatan fluida (kg/m³)

2.8 Heat Transfer

Dalam sistem pembakaran terdapat 3 cara untuk kalor berpindah seperti di ilustrasikan pada Gambar 2.6, yaitu: konveksi, konduksi, radiasi.



Gambar 2.6 Macam-macam perpindahan panas

Sumber: Luqman Buchori (2009:18)

1. Konveksi adalah perpindahan panas melalui aliran dimana zat perantaranya ikut berpindah. Contoh dari perpindahan panas konveksi adalah gerakan air yang naik turun ketika dipanaskan, terjadinya angin darat dan angin laut. Untuk mencari besarnya perpindahan kalor secara konveksi dapat menggunakan rumus berikut.

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta t \quad (2-9)$$

Sumber: Luqman Buchori (2009)

Dimana:

Q = Perpindahan kalor (Watt)

h = Koefisien konveksi ($\text{watt/m}^2\text{K}$)

A = Luas permukaan (m^2)

Δt = Perbedaan temperatur (K)

2. Konduksi adalah perpindahan panas dimana zat perantaranya tidak ikut berpindah. Contoh dari perpindahan panas konduksi adalah knalpot motor yang menjadi panas, gelas yang menjadi panas saat diisi air panas, dan lain-lain. Untuk mencari besarnya perpindahan kalor secara konduksi dapat menggunakan rumus berikut.

$$Q = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta t}{dx} \quad (2-10)$$

Sumber: Luqman Buchori (2009)

Dimana:

Q = Perpindahan kalor (Watt)

K = Konduktivitas thermal (watt/mK)

A = Luas permukaan (m^2)

Δt = Perbedaan temperatur (K)

dx = Ketebalan (m)

3. Radiasi adalah perpindahan panas yang tidak membutuhkan zat perantara. Contoh dari perpindahan panas radiasi adalah panas dari api unggun, menjemur pakaian, dan lain-lain. Untuk mencari besarnya perpindahan kalor secara radiasi dapat menggunakan rumus berikut.

$$Q = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (2-11)$$

Sumber: Luqman Buchori (2009)

Dimana:

Q = Perpindahan kalor (watt)

e = Emisifitas bahan

σ = Koefisien Stefan Boltzman ($5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

A = Luas permukaan (m^2)

T = Temperatur (K)

Perpindahan panas yang sering terjadi pada *bunsen burner* adalah konduksi dan konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi saat panas api menjalar ke dinding *bunsen burner*, dan juga perpindahan panas ke *ring*. Perpindahan secara konveksi terjadi antara lingkungan dan *ring* serta *bunsen burner*.

2.9 Simulasi Numerik

Simulasi numerik merupakan salah satu metode dalam penelitian ilmiah dengan cara pemodelan kasus yang sedang diteliti kedalam perangkat lunak CAE (*Computer Aided Engineering*) berdasarkan persamaan matematik yang ada dalam kasus tersebut. CAE sendiri adalah suatu teknologi perangkat lunak (*software*) untuk mendukung seorang *engineer* dalam menyelesaikan persoalan-persoalan seperti analisis, simulasi, desain, manufaktur, perencanaan, diagnosis, maupun perbaikan di bidang keteknikan. Perusahaan perusahaan pengembang CAE yang produknya kerap digunakan saat ini diantaranya:

1. ANSYS, Inc.
2. ABAQUS, Inc.
3. ADINA R & D, Inc.
4. Autodesk, Inc.

Dalam hal ini untuk menyelesaikan simulasi numerik dari permasalahan yang telah dijelaskan di bagian sebelumnya dipilih CAE dari ANSYS, Inc. dengan *platform* CFD (*Computational Fluid Dynamic*) menggunakan Fluent. CFD merupakan salah satu alternatif untuk permasalahan mengenai komputasi fluida baik gas maupun cair yang berkaitan di

bidang keteknikan di samping penggunaan laboratorium, Trimulyono (2012). Secara umum tahapan dalam melakukan simulasi numerik menggunakan Fluent dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. *Pre processing* (proses awal)
2. *Solution* (proses solusi)
3. *General post processing* (proses pembacaan hasil)

2.10 Computational Fluid Dynamic (CFD)

CFD merupakan ilmu yang mempelajari tentang analisa aliran fluida, perpindahan panas fenomena yang berhubungan dengannya seperti reaksi kimia dengan menyelesaikan persamaan matematika dan menggunakan bantuan simulasi komputer. Persamaan persamaan aliran fluida dapat dideskripsikan dengan persamaan differensial parsial yang tidak dapat dipecahkan secara analitis kecuali dengan kasus yang spesial. Sehingga kita membutuhkan suatu metode pendekatan untuk menentukan suatu hasil. Perbedaan tingkat akurasi eksperimen dengan CFD adalah jika data eksperimen, tingkat akurasi akan bergantung pada alat yang digunakan. Sedangkan akurasi dari solusi numerik, dalam hal ini adalah CFD bergantung pada kualitas diskretisasi yang digunakan. CFD disusun berdasarkan algoritma numerik yang mampu untuk mengatasi masalah aliran fluida. Komponen-komponen yang dibutuhkan dalam algoritma numerik adalah model matematika dan metode diskretisasi (Versteeg, 2007).

Langkah awal dalam menyusun algoritma numerik adalah model matematika. Model matematika digunakan untuk mendeskripsikan aliran fluida dengan menentukan persamaan differensial parsial dan kondisi batas dari suatu prediksi aliran fluida. Persamaan umum dari aliran fluida yang merepresentasikan model matematika didapatkan dari tiga prinsip utama, yaitu:

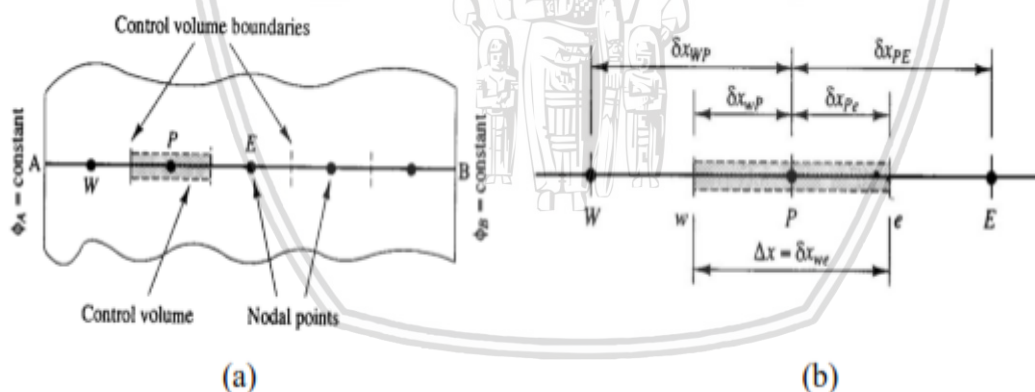
1. Hukum kekekalan massa (persamaan kontinuitas)
2. Hukum II Newton (persamaan momentum)
3. Hukum kekekalan energi (persamaan energi)

Setelah menentukan model matematika, kita harus memilih metode diskretisasi yang cocok dengan kata lain sebuah metode dari pendekatan persamaan differensial dengan sistem persamaan aljabar. Untuk menentukan sebuah solusi pendekatan numerik, kita harus menggunakan metode diskretisasi persamaan differensial dengan sistem persamaan aljabar yang dapat dipecahkan dengan komputer. Ada beberapa metode pendekatan, yaitu *finite difference method*, *finite element method*, dan *finite volume method*. Salah satu metode yang

sering digunakan dalam analisa CFD adalah *finite volume method* atau metode volume hingga.

Metode volume hingga mula-mula dikembangkan dari formulasi *special finite difference*. Metode volume hingga menggunakan bentuk integral dari persamaan umum untuk dilakukan diskretisasi persamaan. Solusi dibagi ke dalam sejumlah *control volume* yang berhingga, dan persamaan umum yang telah didiskretisasi diaplikasikan pada tiap *control volume*. Titik pusat tiap *control volume* merupakan nodal komputasi pada variabel yang dihitung.

Untuk kasus satu dimensi dapat digambarkan seperti Gambar 2.7 dibawah, merepresentasikan pembagian domain ke dalam *control volume* yang berhingga dan notasi yang biasa digunakan. Titik nodal diidentifikasi dengan P dan titik nodal didekatnya di sebelah barat dan timur diidentifikasi dengan W dan E. Titik permukaan *control volume* di sisi barat ditunjuk dengan w dan di sisi timur dengan e. Jarak antara nodal W dan P, dan antara P dan E diidentifikasi dengan δx_{WP} dan δx_{PE} . Sedangkan jarak antara titik permukaan *control volume* w dengan titik nodal P, dan antara titik nodal P dengan titik permukaan *control volume* e dinotasikan dengan δx_{wP} dan δx_{Pe} . Panjang *control volume* adalah δx_{we} .



Gambar 2.7 (a) Pembagian *control volume* 1 dimensi (b) Panjang *control volume*
Sumber: Versteeg (2007)

Persamaan yang mengatur diselesaikan melalui *control volume* diskrit seperti pada Gambar 2.7. Metode volume hingga menyusun kembali persamaan diferensial parsial, yaitu persamaan Navier Stokes, dalam bentuk konservatif dan kemudian didiskritkan persamaan baru. Hal ini menjamin konservasi fluks melalui *control volume* tertentu. Yang terbatas menghasilkan persamaan volume yang mengatur persamaan dalam bentuk.

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint Q dV + \iint F dA = 0 \quad (2-12)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:122)

Dimana Q adalah vektor variabel dilestarikan, F adalah vektor dari fluks, V adalah volume dari elemen kontrol volume, dan luas permukaan elemen volume kontrol. CFD menyajikan pemodelan dari suatu pembakaran dengan sangat baik. Proses pembakaran diatur oleh persamaan *transport* dasar untuk aliran fluida dan *heat transfer* dengan model-model tambahan untuk pembakaran kimiawi, perpindahan panas radiasi dan proses-proses penting lainnya. Adapun persamaan-persamaan yang digunakan dalam proses pemodelan pembakaran di CFD seperti persamaan kontinuitas, persamaan momentum, persamaan *transport species*, persamaan energi dan sebagainya. Persamaan kontinuitas sebagai berikut.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2-13)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:363)

Dari persamaan tersebut perlu dicatat bahwa densitas dalam aliran pembakarannya variabel, dan tergantung pada tekanan, temperatur dan *species concentration*. Persamaan momentum sebagai berikut.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial t_{ij}}{\partial x_i} + F_i \quad (2-14)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:363)

Dimana adalah tegangan *viscous* dan F_i adalah *body force* (dimana sudah termasuk gravitasi):

$$t_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \quad (2-15)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:363)

Persamaan *transport equations* sebagai berikut.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \rho Y_k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho D_k \frac{\partial Y_k}{\partial x_i} \right) + \omega_k \quad (2-16)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:363)

2.11 Pemodelan Pembakaran

Pembakaran adalah salah satu proses terpenting dalam dunia *engineering*, yang melibatkan aliran fluida turbulen, perpindahan panas, reaksi kimia, perpindahan panas radiasi dan proses fisik dan kimia kompleks lainnya. Aplikasi teknik yang umum termasuk mesin pembakaran internal, pembangkit tenaga listrik, *aero-engines*, turbin gas *combustors*, boiler, *furnaces*, dan peralatan pembakaran lainnya. Penting untuk dapat memprediksi aliran, suhu, hasil konsentrasi dan emisi spesies dari berbagai sistem pembakaran untuk disain dan perbaikan peralatan pembakaran, terutama dengan kekhawatiran saat ini tentang CO₂ dan tingkat emisi lainnya dan pengaruhnya terhadap

lingkungan. CFD sangat cocok untuk pemodelan pembakaran. Proses pembakaran diatur oleh persamaan transportasi dasar untuk aliran fluida dan perpindahan panas dengan model tambahan untuk kimia pembakaran, perpindahan panas radiasi dan sub-proses penting lainnya. Pembakaran adalah subjek yang kompleks, dan pemodelan pembakaran karenanya membutuhkan cukup banyak pengetahuan dan pengalaman.

Ada banyak jenis proses pembakaran. Pembakaran bahan bakar gas, pembakaran bahan bakar cair, pembakaran bahan bakar padat, *spray*, *pulverized*, dan lainnya. Untuk menggambarkan penerapan CFD maka akan difokuskan pada pembakaran gas. Untuk proses lain yang lebih kompleks maka harus dilakukan studi literatur lebih lanjut untuk mengetahui bagaimana CFD berhasil diterapkan di area seperti pembakaran semprot (Beck dan Watkins, 2004), pembakaran batubara bubuk (Lockwood et al., 1980, 1986), diesel dan spark ignition Mesin (Blunsdon et al., 1992, 1993; Henson dan Malalasekera, 2000) sebagai alat pemodelan.

Pembakaran gas melibatkan reaksi kimia antara bahan bakar dan oksidan yang berada dalam fase gas. Ada dua kategori proses pembakaran gas: pembakaran *premix* dan pembakaran *non-premixed*. Misalnya, pembakaran dalam *spark ignition internal combustion engine* (mesin bensin) dapat dikategorikan sebagai pembakaran *premix*, karena bahan bakar (bensin) dicampur dengan udara sebelum pembakaran, yang terjadi setelah pengapian. Demikian pula *flame* di *bunsen burner* yang sudah dikenal juga merupakan pembakaran *premix*, karena udara telah dicampur dengan gas sebelum pembakaran. Sebaliknya, sebuah *jet flame* dimana bahan bakar memasuki udara ambien dan dibiarkan menyala adalah contoh nyala yang tidak bercampur. Campuran bahan bakar gas dengan aliran oksidan (udara) dan kemudian pembakaran terjadi dimana kondisinya tepat untuk pembakaran. *Non-premix flame* juga disebut *difusi flame* karena bahan bakar dan oksigen dimasukkan ke zona pembakaran di dua atau lebih aliran terpisah dan selanjutnya disatukan karena difusi dan pencampuran sebelum pembakaran.

Sebelum dan sesudah pembakaran, volume gas biasanya mengandung campuran spesies. Oleh karena itu penting untuk mempertimbangkan sifat dasar campuran tersebut. Fraksi mol spesies k dalam campuran didefinisikan sebagai:

$$X_k = \frac{n_k}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_N} = \frac{n_k}{n_{\text{total}}} \quad (2-17)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:364)

Dalam aliran pembakaran, temperatur bergantung pada keadaan termodinamika dan komposisi dari (*mixture*) campuran. Beberapa model pembakaran tidak membutuhkan persamaan *transport* untuk mencari entalpi, semisal pada model *laminar flamelet*,

temperatur didapatkan dari *laminar flamelet library curves*. Energi kimiawi dilepaskan sebagai panas selama pembakaran dan hasil entalpi diperoleh dengan penyelesaian persamaan *transport*, berikut persamaan energi yang digunakan:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\mu}{\sigma h} \frac{\partial h}{\partial x_i} + \mu \left(\frac{1}{\sigma_{ck}} - \frac{1}{\sigma h} \right) \sum_{k=1}^N h_k \frac{\partial Y_k}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial p}{\partial t} + S_{rad} \quad (2-18)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:364)

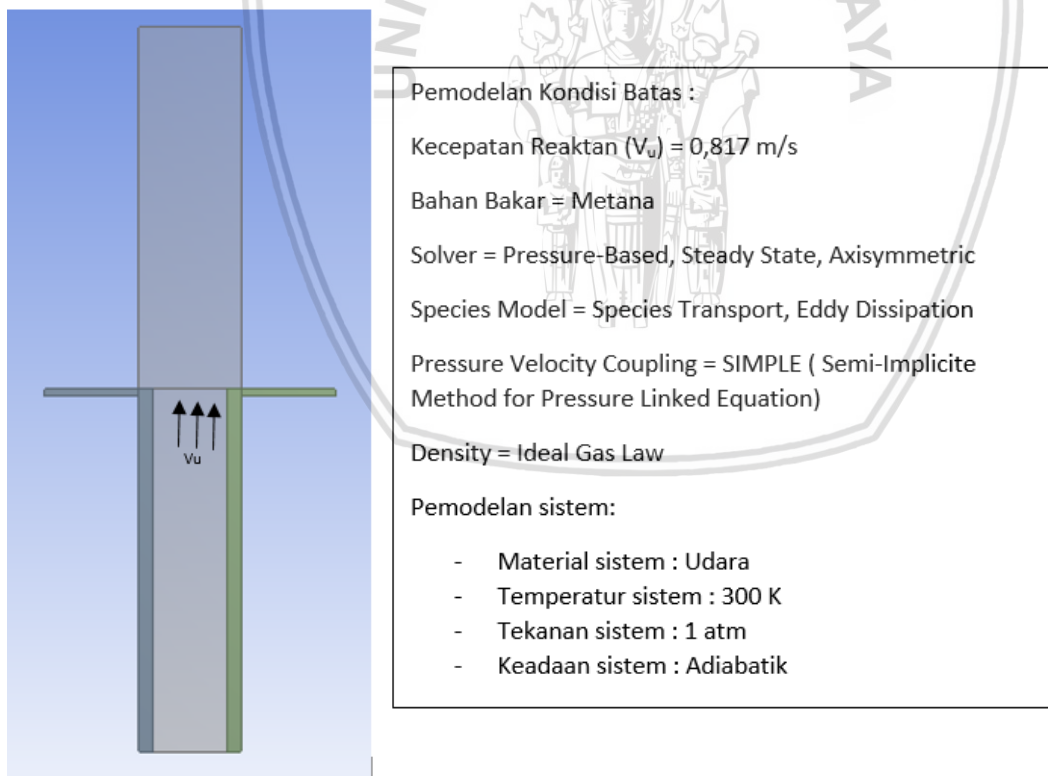
Untuk menyertakan *finite rate* dan ilmu kimia rinci dalam perhitungan pembakaran harus dipertimbangkan mekanisme rinci dan menyelesaikan banyak persamaan *species transport* dalam bentuk:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u Y_k) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho v Y_k) = \frac{\partial}{\partial x} \left(r \rho D_k \frac{\partial Y_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(r \rho D_k \frac{\partial Y_k}{\partial r} \right) + r \omega_k \quad (2-19)$$

Sumber: Versteeg dan Malalasekera (2007:374)

2.11.1 Pengaturan Kondisi Batas pada Pemodelan Pembakaran *Computational Fluid Dynamic*

Setelah melakukan proses *meshing* tahap selanjutnya adalah proses *setup*, seperti pada Gambar 2.8. Pada tahap ini ada beberapa kondisi yang akan diatur dan dipilih yaitu:



Gambar 2.8 Pemodelan kondisi batas

1. *Pressure-Based*

Penyelesaian *pressure-based* ini digunakan pada aliran yang bersifat subsonik. Pada penyelesaian *pressure-based* ini pada awalnya nilai dari *face pressure* pada batas sistem

sama dengan nilai pada *pressure outlet*. Ketika pilihan *average pressure specification* diaktifkan, maka nilai *face pressure* pada batas luar sistem dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$P_f = 0,5 (P_c + P_e) + dp$$

$$dp = \left(p_c - \frac{\sum_{i=1}^{i=n \text{ face}} 0,5 (p_c + p_e) (\text{Area})}{\sum_{i=1}^{i=n \text{ face}} \text{Area}} \right)$$

Keterangan:

P_c = Tekanan *Interior Cell*

P_e = Tekanan Keluar

dp = Perbedaan nilai tekanan antara tekanan spesifik P_e dengan tekanan rata-rata akhir pada batas

2. *Steady State*

Perhitungan *steady state* ini digunakan ketika karakteristik perhitungan tidak mengalami perubahan berdasarkan waktu. Pada kondisi *steady* ini diasumsikan didapat setelah mencapai interval waktu yang relatif panjang. Pada kondisi *steady* ini tidak diperlukan informasi waktu secara terus menerus untuk mendeskripsikan karakteristik perhitungan. Banyak aplikasi aliran yang dapat diasumsikan berupa *steady* setelah awalnya berupa aliran yang *unsteady*, contohnya berupa aliran setelah beroperasinya mesin rotari.

3. *2D Axisymmetric*

Pada permasalahan dengan geometri berupa silinder atau geometri yang berotasi secara simetri, persamaan yang digunakan dapat disederhanakan menjadi persamaan bentuk dua dimensi dengan transformasi koordinat secara *axisymmetric*. Pada sumbu simetri, koefisien reaksi bernilai nol, digunakan sebagai referensi di mana koordinat, gradien, dan operator divergen akan bertransformasi. Dengan metode ini, persamaan ini akan disederhanakan menjadi bentuk dua dimensi, namun tetap menampilkan persamaan rotasi tiga dimensional.

4. *Eddy Dissipation*

Metode *eddy dissipation* ini digunakan karena dalam menggunakan metode *eddy dissipation* ini tidak diperlukan pemantik. dengan menggunakan metode *eddy dissipation* ini cukup sederhana dan praktis, karena memudahkan dalam pembuatan geometri karena tidak perlu menambahkan pemantik untuk menginisiasi terjadinya proses pembakaran dan juga dalam menentukan kondisi batas, tidak perlu menentukan kondisi batas untuk pemantik. Selain itu, *Eddy Dissipation* dapat digunakan pada

berbagai kasus, sehingga tidak perlu dilakukan penyesuaian pada tiap kasus. Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan pada metode *eddy dissipation*.

$$R_{i,r} = v'_{i,r} M_{w,i} A \rho \frac{\varepsilon}{k} \min R \left(\frac{Y_R}{v'_R M_w R} \right)$$

$$R_{i,r} = v'_{i,r} M_{w,i} A B \rho \frac{\varepsilon}{k} \frac{\sum p Y_p}{\sum_j^N v'^n_j \cdot r M_{w,j}}$$

Keterangan:

Y_P = Fraksi massa dari produk

Y_R = Fraksi massa dari reaktan

A = Konstanta Empiris yang Bernilai 4

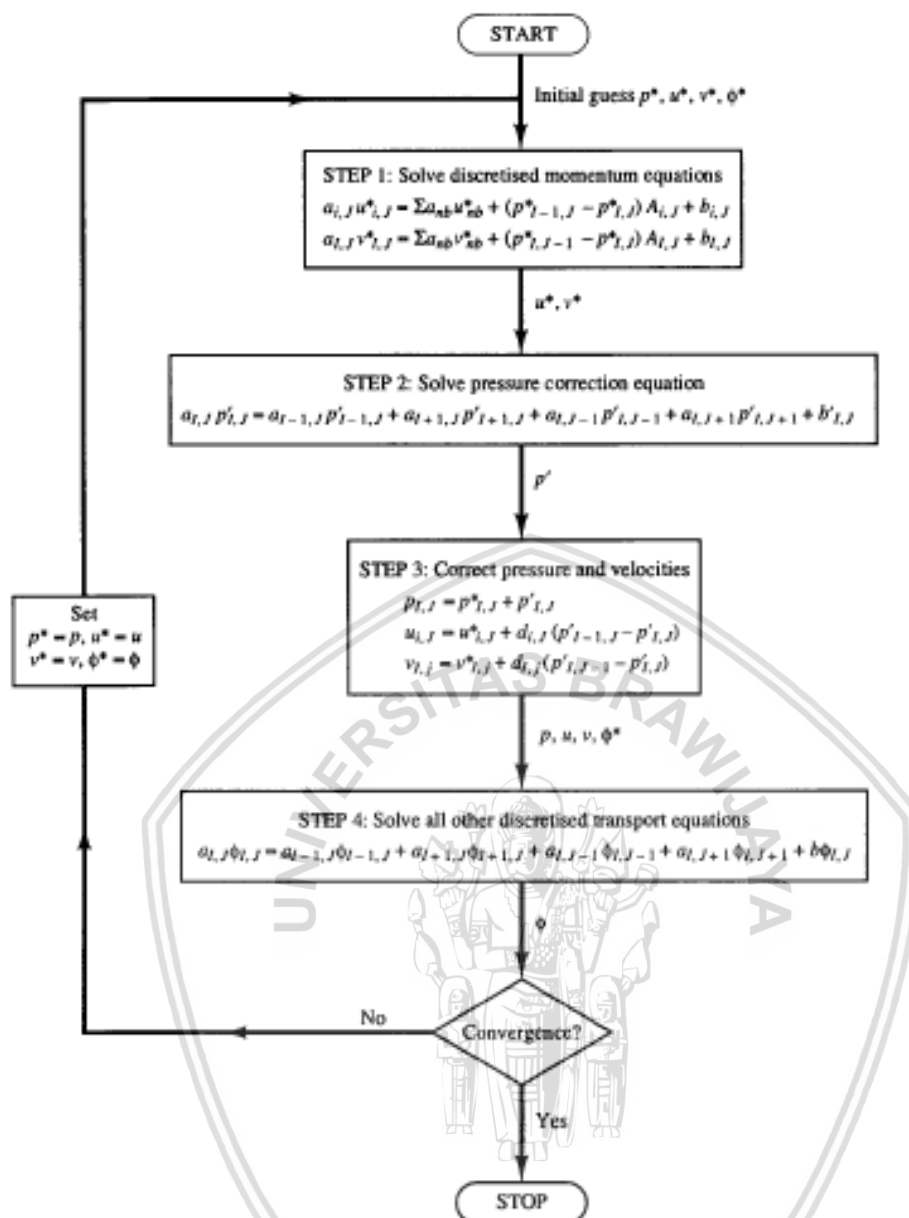
B = Konstanta Empiris yang Bernilai 0,5

5. SIMPLE (*Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equation*)

Metode SIMPLE ini digunakan karena sangat sesuai dengan kondisi analisis pada simulasi yang dilakukan, yaitu analisis berupa analisis dua dimensi, dengan kondisi aliran tunak, dan laminar. Selain itu algoritma dari SIMPLE ini lebih sederhana dibandingkan dengan metode lainnya sehingga proses perhitungan dapat berlangsung lebih cepat dibandingkan metode lainnya. Berikut ini adalah algoritma dari metode SIMPLE:

- Membagi persamaan ke dalam bentuk yang lebih kecil
- Menyelesaikan persamaan tekanan terkoreksi
- Mengkoreksi tekanan dan kecepatan
- Menyelesaikan persamaan lain yang telah dibagi ke dalam bentuk kecil tadi

Algoritma tersebut akan mengalami pengulangan secara terus menerus (iterasi) hingga proses perhitungan yang dilakukan telah konvergen. Gambar 2.9 berikut menunjukkan diagram alir dari metode SIMPLE.



Gambar 2.9 Diagram alir metode SIMPLE

2.12 Hipotesis

Karakteristik nyala api pada pembakaran *bunsen burner* dengan tambahan *ring* akan berbeda dikarenakan adanya *ring*. *Ring* tersebut akan melakukan perpindahan panas secara konduksi. Sehingga temperatur nyala api akan semakin kecil jika diameter *ring* semakin besar. Tinggi api juga akan berpengaruh terhadap berkurangnya temperatur suhu, dimana semakin kecil suhu makan api akan semakin tinggi, karena suhu api yang rendah cenderung terhempas oleh aliran reaktan. Kecepatan api laminar akan cenderung naik, dikarenakan tinggi api yang meningkat sehingga sudut api yang terbentuk menurun.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian kali ini dilakukan dengan menggunakan metode simulasi. Dengan pengujian secara simulasi dapat mendapat gambaran melalui sebuah sistem dengan skala yang lebih kecil dan serta lingkungan yang lebih terkontrol.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

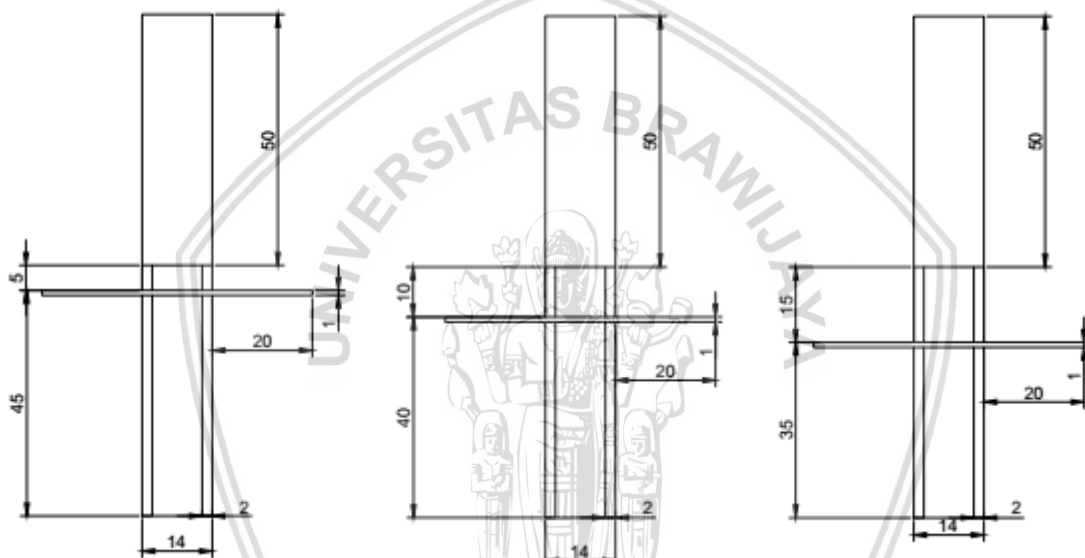
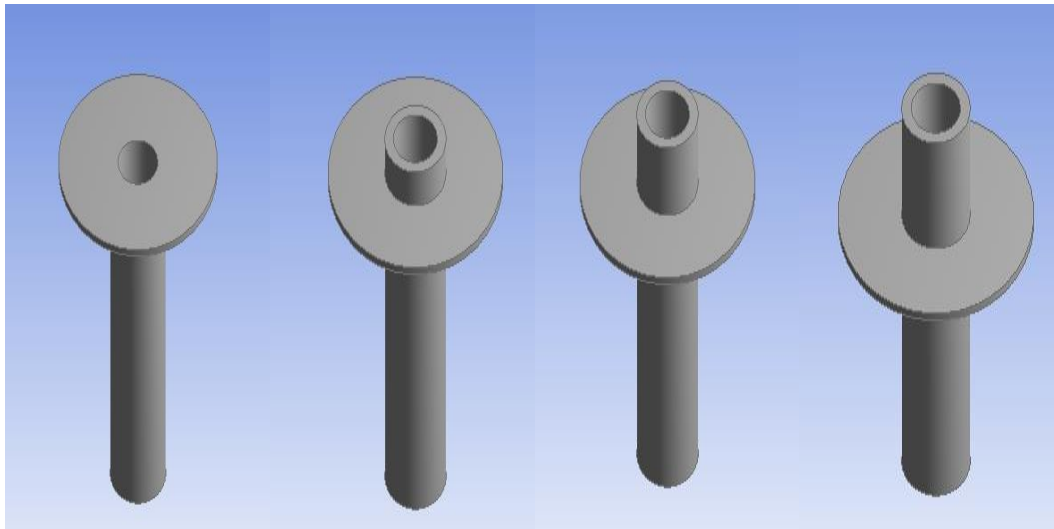
Penelitian dilakukan di Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem (SPRS) Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Waktu penelitian dimulai pada bulan Maret 2018 sampai selesai.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian kali ini terdapat 3 jenis yaitu, variabel terikat, variabel kontrol, variabel bebas

1. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang nilainya bebas ditentukan oleh peneliti. Pada penelitian kali ini variabel bebasnya adalah jarak *ring* dari ujung *bunsen burner*. Variasi jarak ring yang digunakan adalah 0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm. Geometri *bunsen burner* dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Dimensi bunsen burner dengan ring

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebasnya. Sehingga nilai dari variabel terikat akan berbeda beda dan didapat setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat dari penelitian ini adalah temperatur nyala api, tinggi api, kecepatan laminar api.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang nilainya terkontrol oleh peneliti dan nilainya akan tetap selama penelitian (tidak berubah-ubah). Pada penelitian kali ini variabel kontrol adalah dimensi dari *bunsen burner* (panjang dan diameter), kecepatan aliran pencampuran, diameter *ring*.

3.4 Prosedur Penelitian

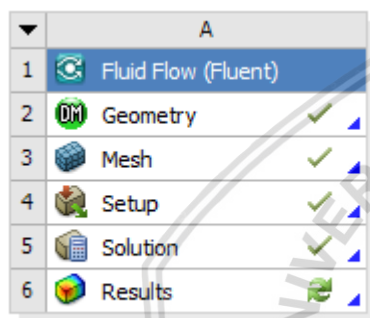
Simulasi akan dilakukan dengan langkah-langkah:

1. Studi literatur

Literatur dipelajari dari artikel, buku, jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini yakni mengenai pembakaran, *Bunsen Burner*, dan karakteristik nyala api.

2. Simulasi menggunakan *ansys workbench 14.5*

Simulasi kali ini menggunakan menu *Fluid Flow Fluent*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. *Fluid Flow Fluent* digunakan untuk mendapatkan karakteristik pengaruh fluida terhadap bentuk-bentuk bejana (*nozzle*, *diffuser*, dan lain-lain), pencampuran fluida.

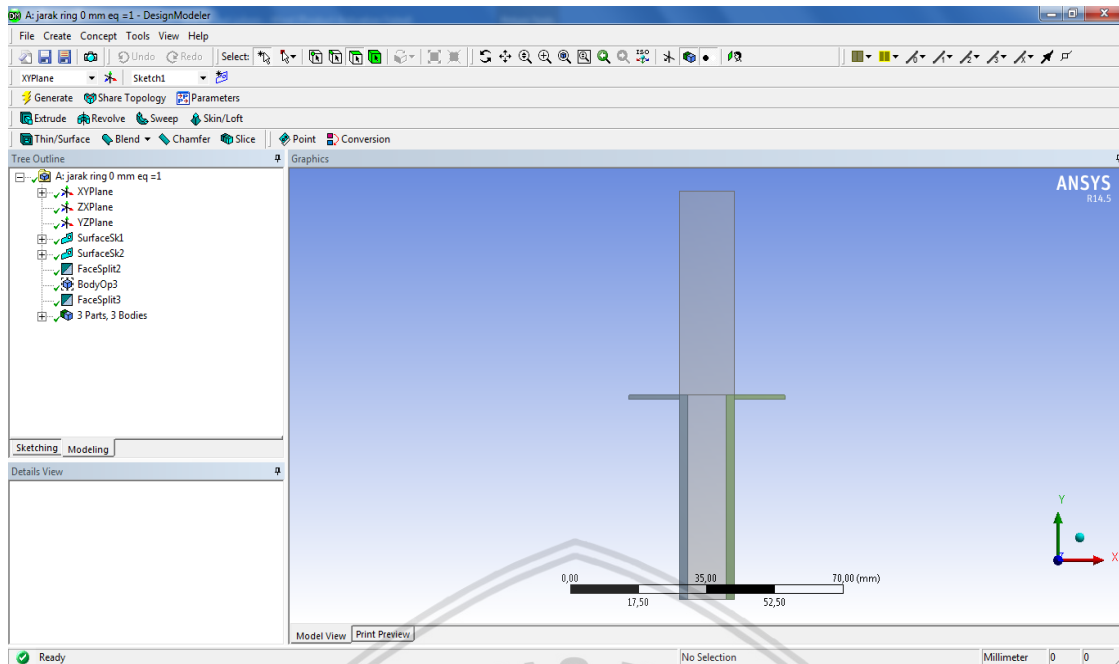


jarak ring 0 mm eq =1

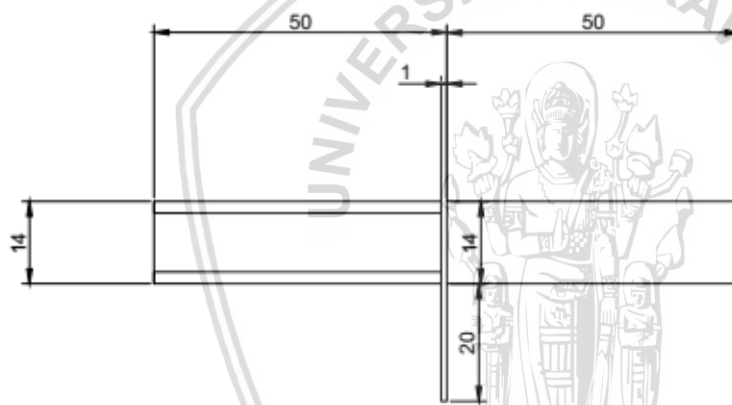
Gambar 3.2 Menu *fluid flow fluent*

3. Pemodelan geometri Bunsen burner

Pada penelitian ini *bunsen burner* dimodelkan dengan ukuran diameter 10 mm, panjang 50 mm dengan tebal dinding 2 mm. Bentuk pemodelan geometri dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



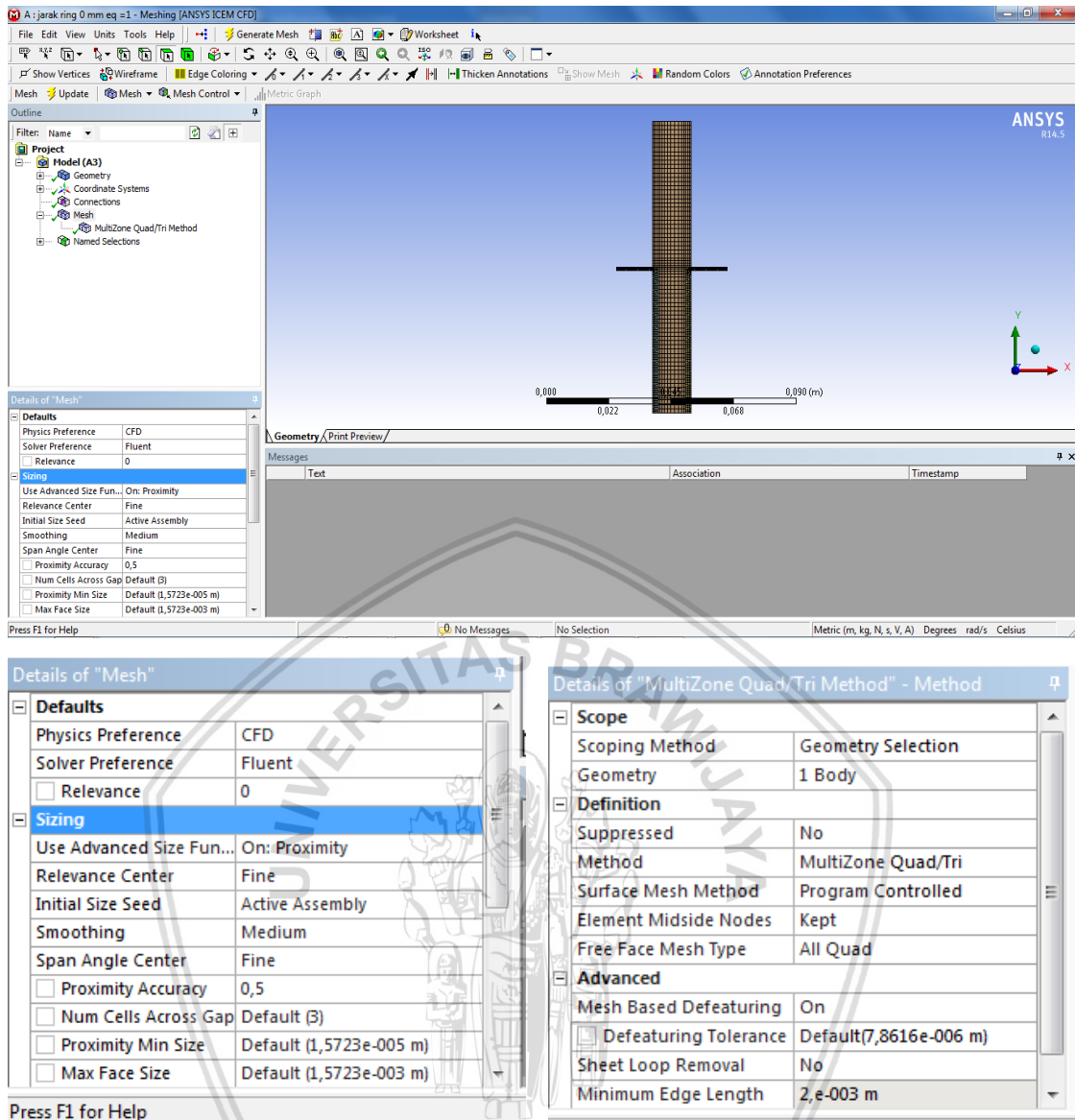
Gambar 3.3 pemodelan geometri



Gambar 3.4 Dimensi *bunsen burner* beserta *ring* pada jarak 0 mm

4. Pembagian Mesh

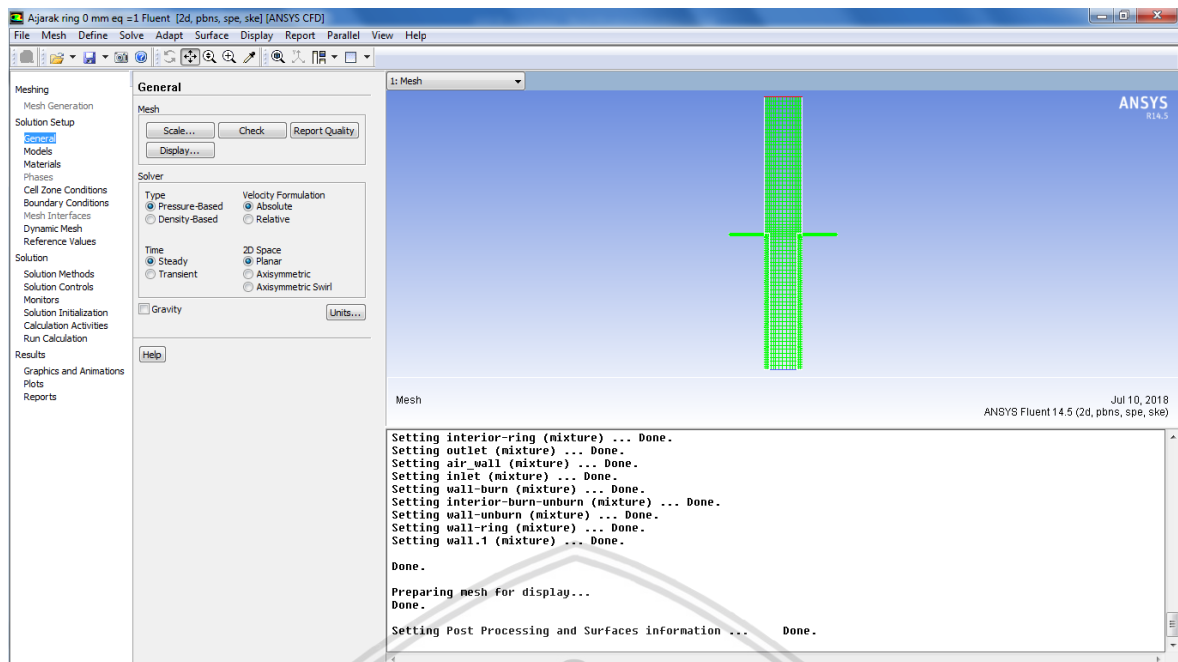
Mesh digunakan untuk membagi struktur menjadi elemen-elemen kecil/diskrit. Semakin kecil ukuran diskritisasi maka hasil perhitungan akan semakin teliti. *Meshing* dapat dilakukan dengan pengaturan Gambar 3.5.



Gambar 3.5 pengaturan meshing

5. Mengatur kondisi batas

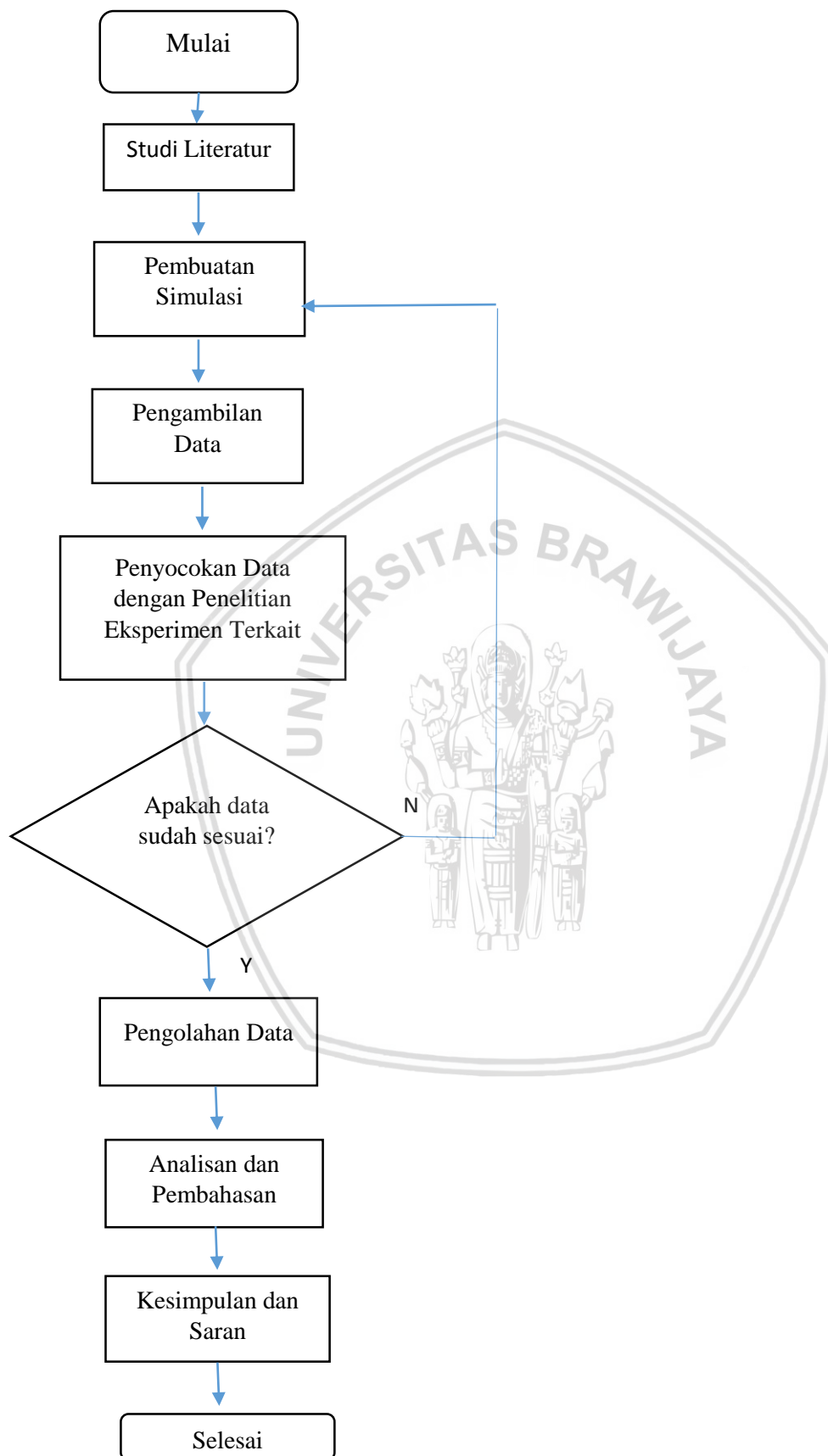
Pada simulasi ini memiliki beberapa kondisi yang dibatasi agar menyerupai keadaan aktualnya. Berikut batasan yang diatur pada simulasi kali ini pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pengaturan kondisi batas pada bagian setup

- a. *Solver* : *Pressure-based, steady-state, planar, & absolute*
- b. *Species model* : *species transport, volumetric, eddy dissipation*
- c. *Pres-velocity coupling* : *SIMPLE*
- d. *Density* : *Ideal gas law*
- e. *Species specific heat* : *Mixing law*
6. *Processing Solution*
 Pada bagian proses *solution* merupakan proses perhitungan dengan memasukkan *boundary conditions*. Perhitungan berbasis *finite volume methods*.
7. *Plot Result*
 Merupakan pengambilan dan pengolahan data hasil perhitungan yang nantinya akan didapatkan data visualisasi nyala api, distribusi temperatur, dan temperatur nyala api.

3.5 Diagram Alir penelitian



Gambar 3.7 Diagram alir penelitian



BAB IV

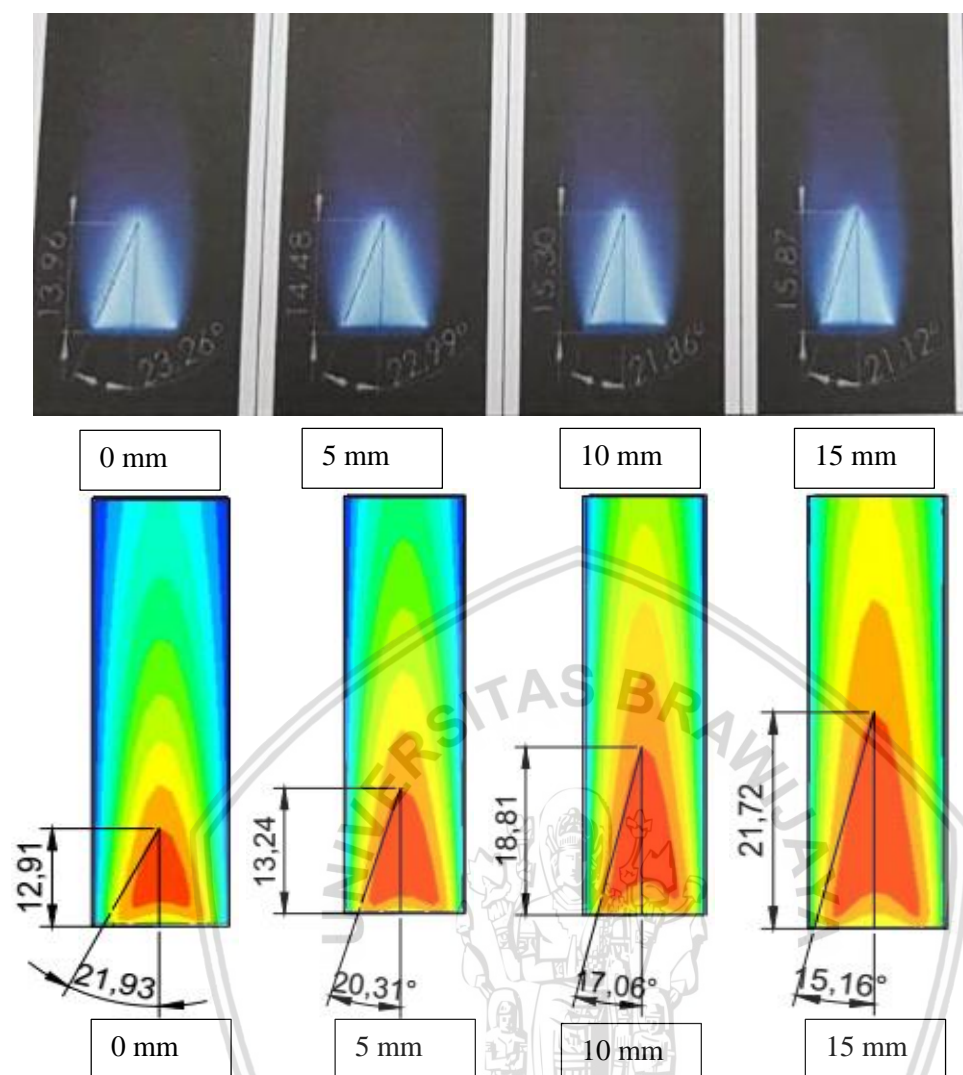
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diambil pada penelitian kali ini diambil menggunakan *software ansys*. Data yang diperoleh dikelompokkan berdasarkan jarak *ring* dan *equivalence ratio*. Hal ini dilakukan untuk mempermudah perbandingan karakteristik nyala api yang dihasilkan. Data visualisasi nyala api kemudian diolah menggunakan *software autocad* untuk mengetahui tinggi nyala api dan sudut nyala api. Sudut nyala api kemudian digunakan untuk mencari kecepatan api laminar berdasarkan rumus.

4.1 Verifikasi Penelitian

Pada penelitian kali ini verifikasi digunakan untuk membandingkan hasil dari penelitian eksperimental mengenai variasi jarak *ring bunsen burner* terhadap karakteristik nyala api pembakaran *premix* gas metana yang dilakukan oleh Gufron, 2017. *Ring* dipasang pada jarak 0 mm, 5 mm, 10 mm, dan 15 mm.

Hasil yang didapat dari eksperimental menunjukkan bahwa visualisasi bentuk nyala api, pada saat *equivalence ratio* mendekati 1 panjang nyala api semakin pendek, lalu saat *equivalence ratio* lebih besar/lebih kecil dari satu dan nilainya semakin menjauhi 1, maka panjang nyala api semakin tinggi. Berikut perbandingan visualisasi nyala api yang dihasilkan. Pada Gambar 4.1 dan Tabel 4.1 dibandingkan mengenai penelitian eksperimental dan penelitian simulasi.



Gambar 4.1 Perbandingan Visualisasi nyala api, tinggi api, dan sudut yang dihasilkan pada *equivalence ratio* 1 pada berbagai jarak ring

Tabel 4.1

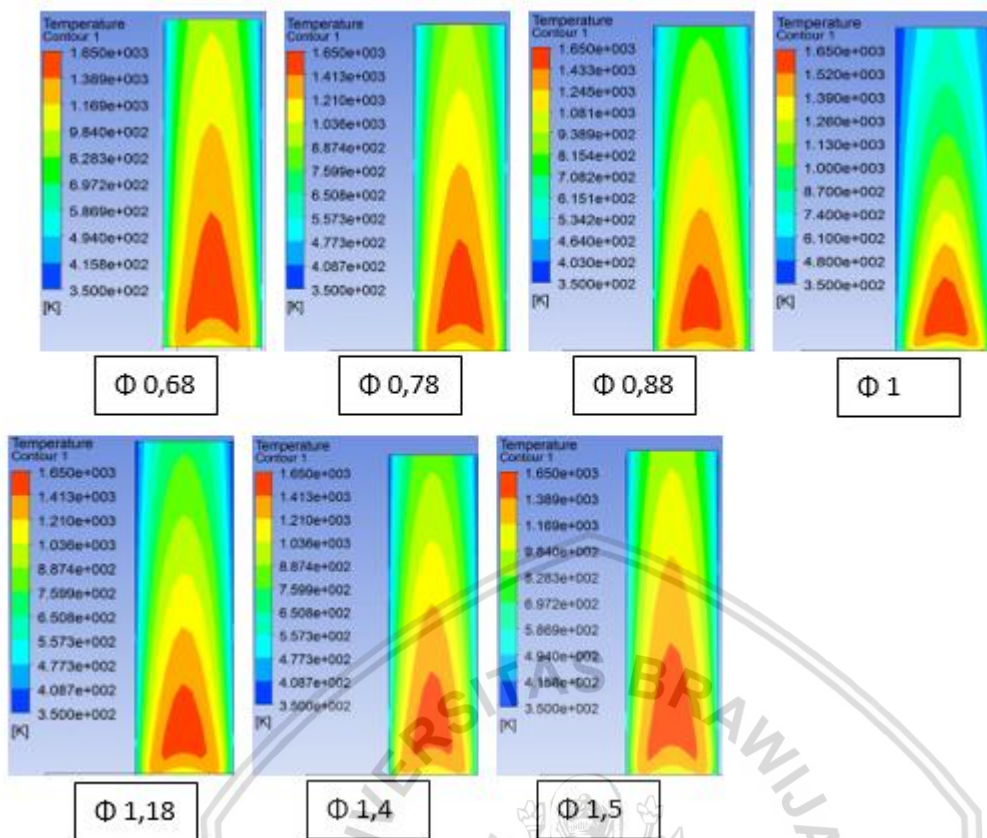
Verifikasi perbandingan hasil penelitian eksperimental dan hasil penelitian simulasi

no	Jenis Pembanding	Hasil Eksperimental	Hasil Simulasi
1	Bahan bakar	Metana	Metana
2	Dimensi <i>Ring</i>	Diameter luar = 40mm Diameter dalam = 18mm Tebal <i>ring</i> = 1mm	Diameter luar = 40mm Diameter dalam = 14mm Tebal <i>ring</i> = 1mm
3	Jarak <i>Ring</i>	0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm	0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm
4	<i>Equivalence ratio</i>	0,78 ; 0,88 ; 1 ; 1,01 ; 1,18 ; 1,4	0,68 ; 0,78 ; 0,88 ; 1 ; 1,18 ; 1,4 ; 1,5
5	Temperatur Api (pada jarak <i>ring</i> 0 mm) (° C)	Φ 0,78 = 1146,33 Φ 0,88 = 1206,33 Φ 1 = 1296 Φ 1,18 = 1219,67 Φ 1,4 = 1158,67	Φ 0,78 = 1232,84 Φ 0,88 = 1240,21 Φ 1 = 1327,67 Φ 1,18 = 1236,88 Φ 1,4 = 1226,16
6	Tinggi Nyala api (pada <i>equivalence ratio</i> 1) (mm)	0 mm = 13,96 5 mm = 14,48 10 mm = 15,30 15 mm = 15,87	0 mm = 12,91 5 mm = 13,24 10 mm = 18,81 15 mm = 21,72
7	Kecepatan Api Laminar (pada jarak <i>ring</i> 15 mm) (cm/s)	Φ 0,78 = 29,39 Φ 0,88 = 31,42 Φ 1 = 39,69 Φ 1,18 = 22,72 Φ 1,4 = 11,64	Φ 0,78 = 13,74 Φ 0,88 = 15,48 Φ 1 = 21,37 Φ 1,18 = 15,96 Φ 1,4 = 14,61

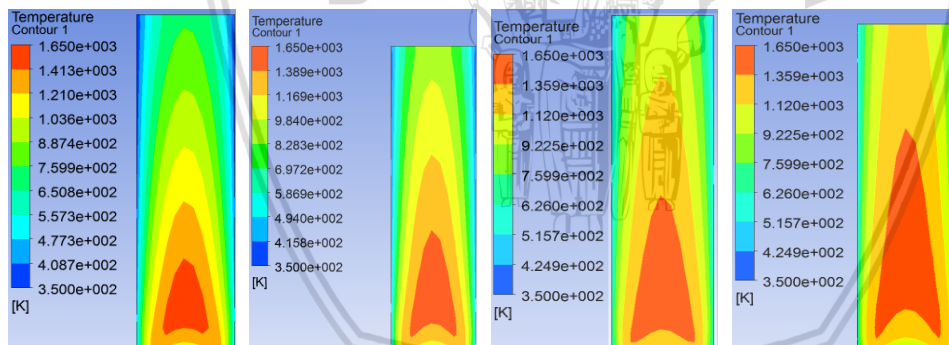
Dari Tabel 4.1 setelah dilakukan verifikasi disimpulkan bahwa data hasil simulasi dapat dinyatakan valid karena data hasil simulasi memiliki *trendline* yang sama dengan data eksperimental.

4.2 Hasil Visualisasi Nyala Api

Gambar 4.2 dibawah ini merupakan visualisasi nyala api berdasarkan *equivalence ratio* dan jarak *ring*.



Gambar 4.2 Visualisasi Api pada jarak ring 0 mm di berbagai *equivalence ratio*



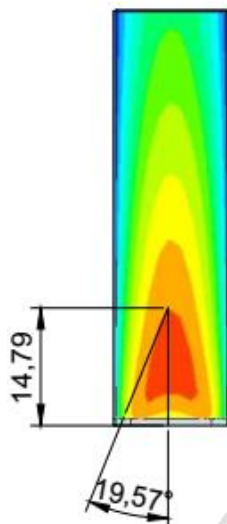
Gambar 4.3 Visualisasi Api di *equivalence ratio* 1.18 pada jarak ring 0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm

Gambar 4.3 diatas merupakan hasil visualisasi nyala api pada *bunsen burner* masing masing *equivalence ratio* dan ketinggian *ring*. Pada Gambar 4.2 menunjukkan tinggi api pada jarak ring 0 mm dengan variasi *equivalence ratio* 0,68; 0,78; 0,88; 1; 1,18; 1,4; 1,5. Sedangkan pada Gambar 4.3 menunjukkan visualisasi nyala api pada *equivalence ratio* 1,18 pada berbagai variasi jarak *ring* yaitu 0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm.

4.3 Pengolahan Data Karakteristik Nyala Api

4.3.1 Pengolahan Data Visualisasi Nyala Api

Visualisasi nyala api diperoleh dari *software ansys* selanjutnya akan dikerjakan di *software autocad* untuk mendapat tinggi api dan sudut nyala api. Sudut nyala api digunakan untuk menghitung kecepatan api laminar.



Gambar 4.4 Data dari visualisasi nyala api pada jarak *ring* 0 mm *equivalence ratio* 1,18

Gambar 4.4 merupakan salah satu contoh dari pengolahan visualisasi nyala api pada *bunsen burner* dengan jarak *ring* 0 mm dan *equivalent ratio* 1,18. Dari pengolahan tersebut didapat data berupa tinggi nyala api dan sudut nyala api. Sudut nyala api bersama dengan kecepatan reaktan dapat digunakan untuk perhitungan kecepatan api laminar. Untuk hasil tinggi nyala api dan sudut nyala api disajikan dalam bentuk Tabel 4.2 sampai Tabel 4.5.

Tabel 4.2

Data Ketinggian dan Sudut Posisi *Ring* 0 mm dari Ujung *Bunsen Burner*

Parameter	Φ 0,68	Φ 0,78	Φ 0,88	Φ1	Φ1,18	Φ1,4	Φ 1,5
α (°)	17,93	19,71	20,59	21,93	19,57	18,73	16,64
Tinggi Api(mm)	21,87	18,02	14,54	12,91	14,75	20,24	21,18

Tabel 4.3

Data Ketinggian dan Sudut Posisi *Ring* 5 mm dari Ujung *Bunsen Burner*

Parameter	Φ 0,68	Φ 0,78	Φ 0,88	Φ1	Φ1,18	Φ1,4	Φ 1,5
α (°)	13,74	15	16,99	20,31	15,56	15,07	13,04
Tinggi Api(mm)	24,64	20,72	18,98	13,24	19,87	21,37	23,78

Tabel 4.4

Data Ketinggian dan Sudut Posisi *Ring* 10 mm dari Ujung *Bunsen Burner*

Parameter	Φ 0,68	Φ 0,78	Φ 0,88	Φ1	Φ1,18	Φ1,4	Φ 1,5
α (°)	11,71	12,36	14,60	17,06	15,31	13,49	12,14
Tinggi Api(mm)	31,06	28,84	27,44	18,81	22,29	29,49	30,91

Tabel 4.5

Data Ketinggian dan Sudut Posisi *Ring* 15 mm dari Ujung *Bunsen Burner*

Parameter	Φ 0,68	Φ 0,78	Φ 0,88	Φ1	Φ1,18	Φ1,4	Φ 1,5
α (°)	9,68	10,87	10,92	15,16	11,26	10,30	9,43
Tinggi Api(mm)	37,06	34,58	31,96	21,72	31,15	35,75	38,11

Tabel 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 di atas menunjukkan bahwa nilai sudut api yang dihasilkan berbanding terbalik dengan sudut api yang terbentuk. Sedangkan untuk tinggi nyala api terendah ada di *equivalence ratio* 1, dan kemudian untuk diatas 1 akan terus meningkat seiring peningkatan nilai *equivalence ratio*. Sudut nyala api mengalami penurunan berdasarkan meningkatnya *equivalence ratio*.

4.3.2 Tabel Hasil Perhitungan Karakteristik Nyala Api

Data visualisasi nyala api digunakan untuk mencari kecepatan api laminar dengan menggunakan data sudut api yang terbentuk. Berikut merupakan perhitungan untuk mencari nilai kecepatan reaktan dan kecepatan api laminar pada *bunsen burner* dengan *equivalence ratio* 1,4.

$$Q_m = 1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{bb} = 5,41 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_{bunsen} = 7,85 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Maka kecepatan reaktan adalah:

$$V_u = \frac{Q_m + Q_{bb}}{A_{bunsen}}$$

$$V_u = \frac{(1 \times 10^{-4}) + (5,41 \times 10^{-5})}{7,85 \times 10^{-6}}$$

$$V_u = 0,817 \text{ m/s}$$

Setelah didapat nilai kecepatan reaktan maka dapat dicari nilai kecepatan api laminar. Berikut salah satu contoh perhitungan kecepatan api laminar pada jarak *ring* 5 mm dengan *equivalence ratio* 1,18.

$$S_L = V_u \cdot \sin \alpha$$

$$S_L = 0,817 \times \sin 15,56$$

$$S_L = 0,21 \text{ m/s}$$

Tabel 4.6 merupakan tabel yang menunjukkan temperatur nyala api.

Tabel 4.6

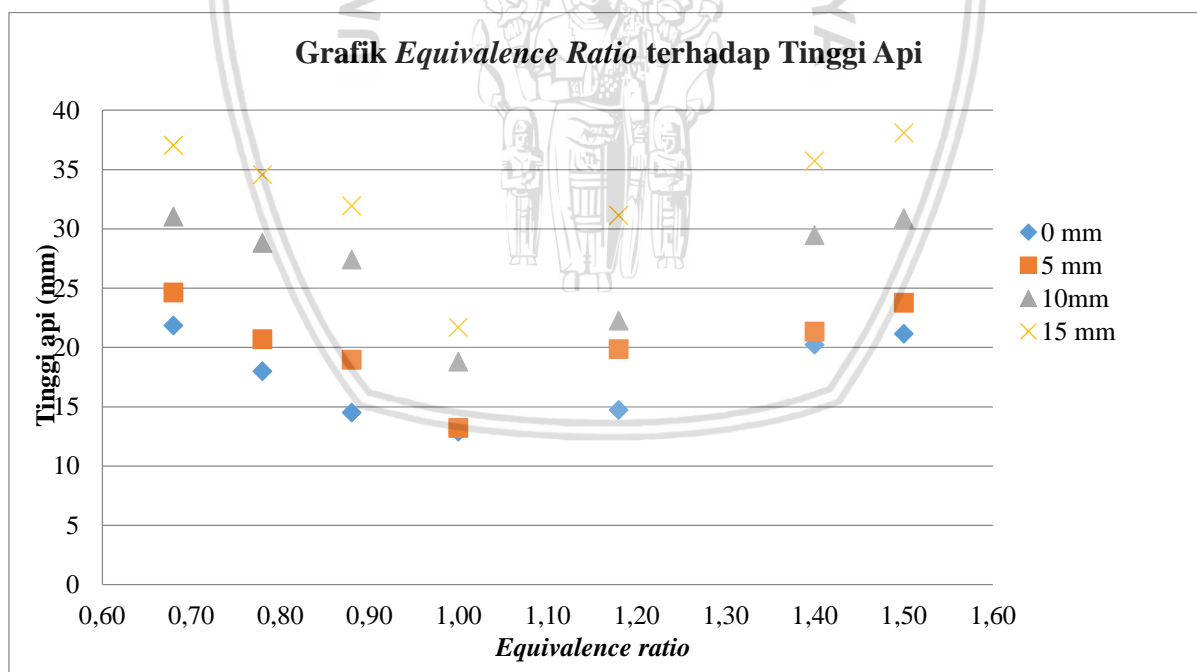
Tabel Karakteristik Nyala Api Masing-Masing Jarak *Ring* pada *Bunsen Burner*

Jarak Ring	Parameter	Φ 0,68	Φ 0,78	Φ 0,88	Φ1	Φ1,18	Φ1,4	Φ 1,5
0 mm	Temperatur (°C)	1225,11	1232,84	1240,21	1327,67	1236,88	1226,16	1223,89
	S_L (m/s)	0,2756	0,25164	0,28746	0,305280	0,27379	0,262477	0,234071
	Tinggi api (mm)	21,87	18,02	14,54	12,91	14,75	20,24	21,18
5 mm	Temperatur (°C)	1211	1215,67	1234,32	1327,21	1230,81	1213,61	1208,77
	S_L (m/s)	0,21156	0,19414	0,23885	0,28372	0,21926	0,21252	0,18443
	Tinggi api (mm)	24,64	20,72	18,98	13,24	19,87	21,37	23,78
10 mm	Temperatur (°C)	1193,53	1211,43	1227,72	1314,13	1212,65	1207,85	1197,78
	S_L (m/s)	0,17496	0,16590	0,20604	0,23980	0,21583	0,19068	0,171902
	Tinggi api (mm)	31,06	28,84	27,44	18,81	22,29	29,49	30,91
15 mm	Temperatur (°C)	1157,08	1175,48	1212,90	1304,42	1209,32	1195,62	1177,73
	S_L (m/s)	0,15414	0,13744	0,15484	0,21376	0,15960	0,14615	0,13392
	Tinggi api (mm)	37,06	34,58	31,96	21,72	31,15	35,75	38,11

Dari Tabel 4.6 dapat diamati bahwa nilai ketinggian nyala api berbanding terbalik dengan nilai kecepatan api laminar. Nilai kecepatan api laminar mengalami peningkatan sebanding dengan peningkatan nilai *equivalence ratio*.

4.4 Grafik dan Pembahasan

4.4.1 Grafik Hubungan *Equivalence ratio* terhadap Tinggi Nyala Api



Gambar 4.5 Grafik hubungan *equivalence ratio* terhadap tinggi nyala api

Gambar 4.5 merupakan grafik pembahasan mengenai hubungan *equivalence ratio* terhadap tinggi nyala api pada variasi jarak *ring* terhadap tinggi api yang dihasilkan pada *bunsen burner*. Pada grafik terlihat bahwa tinggi api yang tinggi pada kondisi *equivalence ratio* dibawah 1, lalu tinggi api menurun pada keadaan *equivalence ratio* 1, dan kemudian tinggi api akan naik kembali saat nilai *equivalence ratio* lebih besar dari 1. Untuk tinggi api

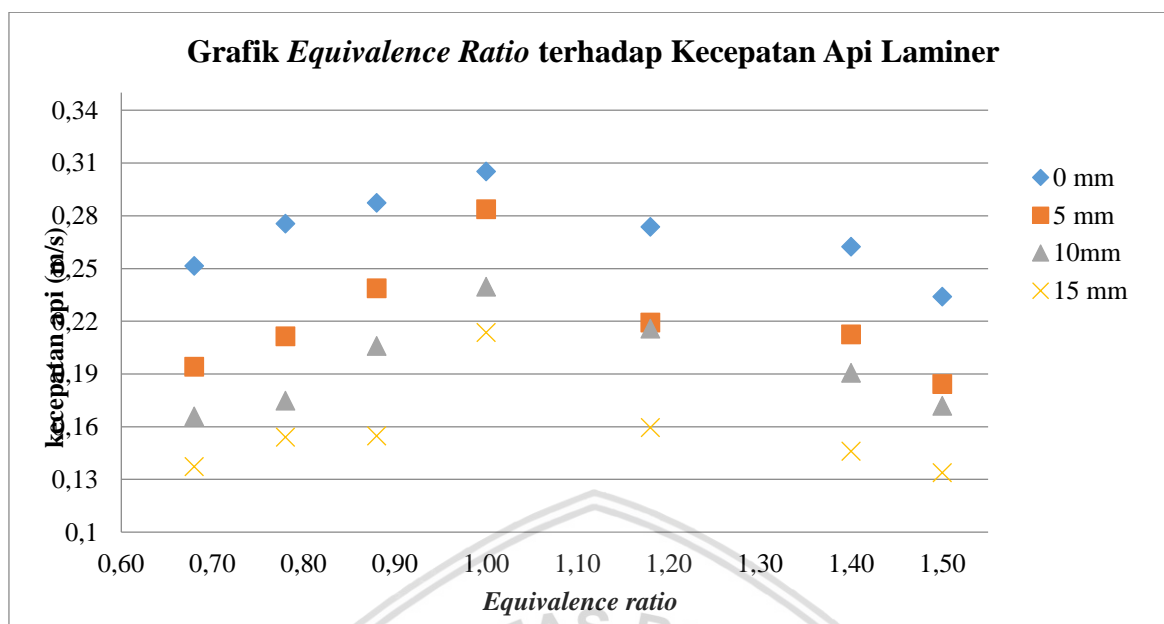
tertinggi ada pada jarak *ring* 15 mm dari ujung *bunsen burner*, sedangkan tinggi api terendah ada pada jarak *ring* 0 mm atau tepat di ujung *bunsen burner*.

Semakin turun posisi ketinggian *ring* pada *bunsen burner* tinggi nyala api yang dihasilkan pada *bunsen burner* semakin meningkat. Hal ini disebabkan panas yang diberikan *ring* pada *bunsen burner* mempengaruhi laju reaksi reaktan pada proses pembakaran, dimana panas yang dihasilkan *ring* pemanas akan ditransfer secara konveksi ke udara sekitar nyala api atau area proses pembakaran. Energi aktivasi yang dibutuhkan reaktan untuk bereaksi menjadi semakin kecil karena panas pada *ring* pemanas akan memberikan sebagian panasnya untuk proses pembakaran sehingga memungkinkan untuk terjadinya reaksi pembakaran serentak pada reaktan.

Pada Gambar 4.5 juga dapat dilihat bahwa untuk ketinggian *ring* pemanas 0 mm atau di ujung *bunsen burner*, tinggi nyala api yang dihasilkan memiliki nilai terkecil untuk masing masing *equivalence ratio*. Hal ini dikarenakan ketika *ring* berada pada ujung *bunsen burner* panas yang dihasilkan akan ditransfer secara konveksi ke udara sekitar nyala api atau area proses pembakaran lebih cepat. Dan untuk jarak *ring* 15 mm memiliki tinggi api tertinggi pada berbagai *equivalence ratio*. Hal ini dikarenakan semakin jauh posisi *ring*, maka energi aktifasi yang diterima oleh *bunsen burner* semakin kecil.

Pada Gambar 4.5 juga terlihat bahwa tinggi api menurun dari *equivalence ratio* dibawah 1 menuju *equivalence ratio* 1, kemudian nilai tinggi api meningkat kembali saat *equivalence ratio* meningkat lebih besar dari 1. Hal ini dikarenakan saat *equivalence ratio* dibawah 1 / miskin bahan bakar, fraksi masa yang mengalir semakin besar yang disebabkan semakin besarnya aliran udara yang mengalir. Hal ini menyebabkan gas mengalir semakin besar dan nyala api yang dihasilkan semakin tinggi. Pada *equivalence ratio* lebih dari 1 / kaya bahan bakar, kadar bahan bakar semakin banyak pada reaktan. Meningkatnya kadar pada bahan bakar yang tidak disertai pertambahan udara mengakibatkan bahan bakar tidak beraksi secara sempurna sehingga sisa dari bahan bakar akan bereaksi secara difusi.

4.4.2 Grafik Hubungan *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Api Laminar



Gambar 4.6 Grafik hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan api laminar

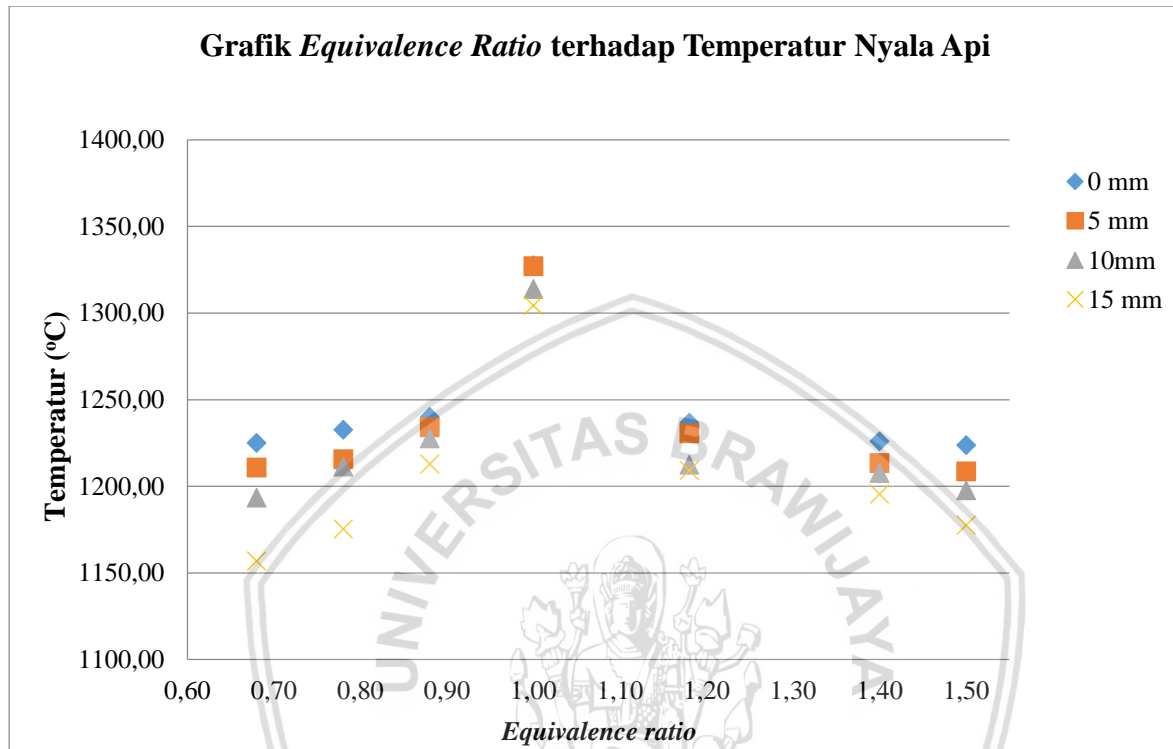
Gambar 4.6 merupakan grafik yang menunjukkan hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan api laminar pada variasi jarak *ring* di *bunsen burner*. Nilai kecepatan api laminar pada *bunsen burner* mengalami penurunan seiring dengan menurunnya posisi ketinggian *ring* pada *bunsen burner*. Berdasarkan *equivalence ratio* kecepatan api laminar berbanding terbalik dengan tinggi nyala api, dimana kecepatan api laminar akan semakin meningkat *equivalence ratio* dibawah 1 menuju *equivalence ratio* 1. Setelah melewati *equivalence ratio* 1 dan lebih besar lagi, kecepatan api laminar akan menurun.

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa nilai kecepatan api laminar semakin besar seiring meningkatnya *equivalence ratio* dari dibawah 1 menuju 1. Hal ini dikarenakan saat *equivalence ratio* di bawah 1 maka fraksi massa udara semakin besar dan menyebabkan kecepatan aliran gas reaktan sehingga menyebabkan perubahan geometri api, dimana api akan semakin memanjang. Ketika nilai *equivalence ratio* lebih besar dari 1, maka kecepatan api laminar akan menurun. Hal ini dikarenakan kadar bahan bakar pada gas yang semakin besar. Bahan bakar yang semakin banyak ini tidak dapat bereaksi sempurna dengan udara, sehingga sisa bahan bakar yang tidak bereaksi akan berdifusi dengan udara sekitar dan membuat geometri api semakin panjang, sehingga sudut yang dihasilkan api akan semakin mengecil.

Pada Gambar 4.6 juga dapat dilihat bahwa semakin jauh posisi *ring* dari ujung *bunsen burner* maka kecepatan api laminar juga menurun. Hal ini dikarenakan panas yang dihasilkan akan ditansfer secara konveksi ke udara sekitar, dan energi aktivasi yang

dibutuhkan reaktan untuk bereaksi semakin kecil karena panas pada *ring* memberikan sebagian panasnya untuk proses pembakaran.

4.4.3 Grafik Hubungan *Equivalence Ratio* terhadap Temperatur Nyala Api



Gambar 4.7 Grafik hubungan *equivalence ratio* terhadap temperatur nyala api

Gambar 4.7 menunjukkan hubungan *equivalence ratio* terhadap temperatur nyala api pada setiap variasi ketinggian *ring* dari ujung *bunsen burner*. Nilai temperatur yang dihasilkan cenderung mengalami peningkatan dari *equivalence ratio* dibawah 1 hingga menuju 1, dan ketika *equivalence ratio* sudah melewati 1 maka akan mengalami penurunan. Menurunnya temperatur yang dihasilkan saat *equivalence ratio* dibawah 1 adalah karena kondisi reaksi yang terlalu banyak udara sehingga campuran tidak sempurna dan ketika terjadi pembakaran terdapat sisa oksidator bahan bakar yang akan menyerap temperatur nyala api yang dihasilkan. Pada saat *equivalence ratio* lebih dari 1 dan mengalami penurunan disebabkan oleh semakin banyaknya bahan bakar, sehingga pembakaran yang terjadi tidak sempurna. Pembakaran yang tidak sempurna mengakibatkan turunnya temperatur nyala api yang dihasilkan. Dalam proses pembakaran, temperatur maksimal dapat dicapai jika reaktan dapat bereaksi dan berubah menjadi 100% produk pembakaran.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Posisi ketinggian *ring* pada *bunsen burner*, mempengaruhi karakteristik nyala api yang dihasilkan oleh pembakaran gas metana pada *bunsen burner*
2. Semakin jauh nilai *equivalence ratio* dari 1 mengakibatkan tinggi nyala api akan semakin meningkat, kecepatan api laminar menurun, dan temperatur yang dihasilkan menurun
3. Nilai kecepatan api laminar terbesar terdapat pada *equivalence ratio* mendekati 1. Hal ini dikarenakan *equivalence ratio* mendekati 1 maka AFR akan semakin mendekati stokiometri dan pembakaran sempurna dapat berlangsung.
4. Semakin jauh posisi *ring* pada *bunsen burner*, nilai tinggi nyala api semakin meningkat, nilai kecepatan api laminar semakin menurun, dan nilai temperatur nyala api semakin menurun.
5. *Ring* pada posisi ujung *bunsen burner* memiliki nilai karakteristik nyala api paling baik dikarenakan panas yang dihasilkan dapat menjaga suhu sekitar nyala api sehingga dapat meminimalisir perpindahan panas dari nyala api yang dihasilkan kelingkungan sekitar, dan energi aktivasi yang diterima mengakibatkan reaktan lebih mudah bereaksi.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya agar meneliti dengan variasi variasi lainnya yang belum dilakukan penelitian sebelumnya
2. Mencari data CHEMKIM yang dapat digunakan dalam *simulasi ansys*

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya Dimas. 2016. *Karakteristik Nyala Api pada Bunsen Burner dan Slot Burner dengan Bahan Bakar Metana*. Malang: Teknik Mesin FT Universitas Brawijaya.
- Buchori Luqman. 2009. *Perpindahan Panas*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Dhiputra I Made Kartika. 2015. *Panjang Nyala Api pada Fenomena Flame Lift-Up Pembakaran Propana Menggunakan Bunsen Burner*. Depok: Teknik Mesin FT Universitas Indonesia.
- F. El Mahallawy. 2002. *Fundamentals and Technology of Combustion*. Oxford. United Kingdom: Elsevier Inc.
- Glassman. 2008. *Combustion Fourth Edition*. Oxford. United Kingdom : Elsevier Inc.
- La Muhaya Bahri Syamsul & Wardana ING. 2015. *Pembakaran Premix Minyak Nabati pada Bunsen Burner Tipe Silinder*. Malang: Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Moran Michael. 2004. *Termodinamika Teknik edisi 4 jilid 2*. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- Norberts Peter. 2010. *Combustion Theory*. Princeton. RWTH Aachen University.
- Sutra Firdaus. 2017. *Karakteristik Nyala Api Pembakaran Gas Metana pada Bunsen Burner dengan Variasi Diameter Ring*. Malang: Teknik Mesin FT Universitas Brawijaya.
- Wardana I.N.G. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. Malang: Brawijaya University: PT. Dinar Wijaya.

